



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“MODELACIÓN DE UNA MATRIZ DE CORTE EN LA PRODUCCIÓN DE LLAVEROS CON EL LOGOTIPO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA CAD CAM”

**LOAYZA LOAYZA DIEGO FABRICIO
MORALES MARTÍNEZ JAIR JAZMANI**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

**RIOBAMBA – ECUADOR
2016**

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2014-11-18

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**LOAYZA LOAYZA DIEGO FABRICIO
MORALES MARTÍNEZ JAIR JAZMANI**

Titulada:

**“MODELACIÓN DE UNA MATRIZ DE CORTE EN LA PRODUCCIÓN DE
LLAVEROS CON EL LOGOTIPO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA
INDUSTRIAL UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA CAD CAM”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Carlos Álvarez Pacheco
DIRECTOR

Ing. Ángel Guamán Mendoza
ASESOR

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: LOAYZA LOAYZA DIEGO FABRICIO

TÍTULO DE LA TESIS: “MODELACIÓN DE UNA MATRIZ DE CORTE EN LA PRODUCCIÓN DE LLAVEROS CON EL LOGOTIPO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA CAD CAM”

Fecha de Examinación: 2016-06-03

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Oswaldo Pérez Rodríguez PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Carlos Álvarez Pacheco DIRECTOR			
Ing. Ángel Guamán Mendoza ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Oswaldo Pérez Rodríguez
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: MORALES MARTÍNEZ JAIR JAZMANI

TÍTULO DE LA TESIS: “MODELACIÓN DE UNA MATRIZ DE CORTE EN LA PRODUCCIÓN DE LLAVEROS CON EL LOGOTIPO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA CAD CAM”

Fecha de Examinación: 2016-06-03

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Oswaldo Pérez Rodríguez PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Carlos Álvarez Pacheco DIRECTOR			
Ing. Ángel Guamán Mendoza ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Oswaldo Pérez Rodríguez
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORÍA

El Trabajo de Titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos–científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Loayza Loayza Diego Fabricio

Morales Martínez Jair Jazmani

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Yo, Loayza Loayza Diego Fabricio y Morales Martínez Jair Jazmani, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación.

Loayza Loayza Diego Fabricio
Cédula de Identidad: 180318785-3

Morales Martínez Jair Jazmani
Cédula de Identidad: 180318785-3

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación está dedicado con todo mi amor, respeto y admiración a mi padre Franklin Loayza y mi madre Mercedes Loayza, por su ejemplo a seguir, por haberme dado la vida y haber inculcado en mis valores y principios esenciales de un hombre de bien. Finalmente agradezco a mis hermanas Luisa Maldonado y Andrea Loayza por todo el cariño, comprensión y apoyo incondicional que siempre me han brindado.

Diego Fabricio Loayza Loayza

El presente trabajo de titulación lo dedico; a mis padres Rolando Morales y Gloria Martínez y a ti abuelita Francisca Vallejo, a mis hermanos Javier y Betty por su ejemplo, apoyo y paciencia; a ti Dayra por ser mi confidente y ahora mi compañera, quienes depositaron su confianza y apoyo incondicional, a la espera que algún día se plasme en realidad su anhelo de verme como una persona útil para mi familia y la sociedad

Al ser que es mi mayor bendición y mi mejor estímulo para seguir adelante para ti hijo Derek Jair.

Jair Jazmani Morales Martínez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme fortaleza para lograr mis metas, a mi familia por brindarme todo el cariño y confianza para culminar una meta más de la vida.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Industrial, por darme la oportunidad de obtener una profesión, y ser una persona útil a la sociedad.

Agradezco al Ing. Ángel Guamán e Ing. Carlos Álvarez, por brindarme su amistad y asesoramiento de la tesis, quienes con la ayuda de su conocimiento y experiencia se logró elaborar el presente documento.

Jair Jazmani Morales Martínez

Agradezco a Dios por darme fortaleza para lograr mis metas, a mi familia por brindarme todo el cariño y confianza para culminar una meta más de la vida.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Industrial, por darme la oportunidad de obtener una profesión, y ser una persona útil a la sociedad.

Agradezco al Ing. Ángel Guamán e Ing. Carlos Álvarez, por brindarme su amistad y asesoramiento de la tesis, quienes con la ayuda de su conocimiento y experiencia se logró elaborar el presente documento.

Diego Fabricio Loayza Loayza

CONTENIDO

		Pág.
1	INTRODUCCIÓN	
1.1	Antecedentes	1
1.2	Justificación.....	1
1.3	Objetivos	1
1.3.1	Objetivo general.	1
1.3.2	Objetivos específicos:	2
2	MARCO TEÓRICO	
2.1	El CAD/CAM desde el punto de vista industrial	3
2.2	Sistemas de producción CAD/CAM y CNC	3
2.2.1	<i>Diseño asistido por computadora (CAD).....</i>	3
2.2.2	<i>Manufactura asistida por computadora (CAM).....</i>	4
2.2.3	<i>Relación CAD/CAM.</i>	4
2.2.4	<i>Sistemas CNC.....</i>	5
2.2.5	<i>Relación CNC – CAD/CAM.</i>	5
2.2.6	<i>Ventajas y desventajas del CNC.....</i>	6
2.2.6.1	<i>Ventajas del CNC.....</i>	6
2.2.6.2	<i>Desventajas del CNC.....</i>	7
2.2.7	<i>Elementos básicos de una Máquina –Herramienta CNC.</i>	7
2.2.7.1	<i>Programa de instrucciones.....</i>	7
2.2.7.2	<i>El control numérico (CN).....</i>	7
2.2.7.3	<i>El equipo de procesamiento.....</i>	7
2.2.7.4	<i>Sistemas de cambio de herramientas y de piezas.....</i>	7
2.2.7.5	<i>Mecanismos de posicionamiento.....</i>	7
2.2.7.6	<i>Unidad de enlace con la máquina.....</i>	8
2.2.7.7	<i>CPU (Unidad Central de Proceso) o microprocesador.....</i>	8
2.2.7.8	<i>Visualizadores de datos.....</i>	8
2.2.8	<i>Tipos de Controladores.....</i>	9
2.2.9	<i>Clasificación de los Controles Numéricos.</i>	9
2.2.10	<i>Lenguaje de programación CNC.</i>	9
2.2.11	<i>Programación de CNC con códigos G y M.....</i>	9
2.2.11.1	<i>Ciclos Especiales.....</i>	11
2.2.12	<i>Código F.....</i>	11
2.2.13	<i>Código S.....</i>	12
2.2.14	<i>Código T.....</i>	12
2.2.15	<i>Códigos X, Z, U, W.....</i>	12
2.3	Procesos de troquelado.....	13
2.3.1	<i>Fundamentos para la operación de corte.</i>	15
2.3.1.1	<i>Fuerzas de corte.....</i>	16
2.3.2	<i>Troqueles de corte.....</i>	18
2.3.2.1	<i>Clasificación de los troqueles.....</i>	18
2.3.3	<i>Componentes de un troquel.....</i>	20
2.3.3.1	<i>Porta punzones o base superior (parte móvil).....</i>	21
2.3.3.2	<i>Porta matriz o base inferior (parte fija).....</i>	22
2.3.3.3	<i>Vástago.....</i>	22

2.3.3.4	<i>Matriz</i>	23
2.3.3.5	<i>Pisador</i>	23
2.3.3.6	<i>Punzones</i>	23
2.3.3.7	<i>Sistema de guías</i>	24
2.3.3.8	<i>Placa guía</i>	24
2.3.3.9	<i>Otros componentes</i>	24
2.3.4	<i>Materiales de los troqueles</i>	25
2.4	<i>Matrices</i>	27
2.4.1	<i>Recomendaciones</i>	28
2.4.1.1	<i>Prueba de errores</i>	28
2.4.1.2	<i>Proporción de la matriz</i>	29
2.4.1.3	<i>Estandarización</i>	30
2.4.2	<i>Clasificación - Matriz de Corte</i>	31
2.4.3	<i>Tolerancia de corte de la matriz</i>	32
2.4.4	<i>Calculo de la tolerancia de corte</i>	32
3	DISEÑO Y MODELACION DE LA MATRIZ DE CORTE EN LA PRODUCCION DE LLAVEROS CON EL LOGOTIPO DE LA ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL	
3.1	<i>Diseño de la pieza a troquelar</i>	34
3.2	<i>Formas de distribuir las piezas</i>	35
3.3	<i>Selección de la configuración de las piezas sobre la tira</i>	35
3.3.1	<i>La tira de corte</i>	35
3.3.1.1	<i>Tira de corte T_c</i>	36
3.3.1.2	<i>Tira de desecho T_d</i>	36
3.3.1.3	<i>Pieza recortada P_z</i>	37
3.3.1.4	<i>Puente S'</i>	37
3.3.1.5	<i>Intervalo S</i>	37
3.3.1.6	<i>Paso P</i>	37
3.3.1.7	<i>Paso inicial P'</i>	38
3.3.1.8	<i>Avance A</i>	38
3.3.2	<i>Formas de distribuir las piezas</i>	38
3.4	<i>Cálculo de cargas para el proceso</i>	39
3.4.1	<i>Fuerza de corte</i>	39
3.4.2	<i>Fuerza de extracción</i>	44
3.4.3	<i>Fuerza de expulsión</i>	44
3.4.4	<i>Selección de la prensa</i>	45
3.4.5	<i>Determinación del centro de gravedad</i>	45
3.5	<i>Vida útil de la matriz</i>	47
3.5.1	<i>Ángulo de escape de la matriz</i>	48
3.6	<i>Manufactura del troquel</i>	48
3.6.1	<i>Materiales de fabricación</i>	49
3.7	<i>Diseño software NX</i>	50
3.8	<i>Fabricación asistida por computadora software NX</i>	59
3.9	<i>Maquinado del troquel</i>	66
3.9.1	<i>Parámetros de corte</i>	66
3.9.2	<i>Matriz</i>	67
3.9.3	<i>Punzones</i>	69
3.9.4	<i>Placa base superior</i>	72

3.9.5	<i>Placa porta punzones.</i>	74
3.9.6	<i>Placa guía de punzones.</i>	74
3.9.7	<i>Placa matriz.</i>	76
3.9.8	<i>Placa base inferior.</i>	76
3.9.9	<i>Placa separadora 1 y 2.</i>	77
3.9.10	<i>Pasador guía de centro 1 y 2.</i>	78
3.9.11	<i>Pernos.</i>	79
3.10	Ensamble del troquel.	80
3.11	Conjunto explotado.	81
3.12	Estudio de costos.	82
3.12.1	<i>Costos directos</i>	82
3.12.2	<i>Costos indirectos</i>	82
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	
4.1	Conclusiones	84
4.2	Recomendaciones	85

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

		Pag.
1	Lista de Códigos G CNC	10
2	Lista de Códigos M CNC	10
3	Composición química del acero	27
4	Mínima distancia C recomendada	30
5	Tamaños sugeridos de matrices estandarizadas.....	31
6	Determinación del centro de gravedad	46
7	Material.....	50
8	Parámetros de corte.	67
9	Costos directos.....	82
10	Costos Indirectos	82

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
1 Elementos básicos de una máquina CNC	8
2 Principio de corte de metal	13
3 Partes básicas de un troquel.....	14
4 Piezas fabricadas por procesos de troquelado	14
5 Troquel de corte.....	15
6 Fases en el proceso de corte	16
7 Componentes de las fuerzas presentes en el proceso de corte.....	17
8 Trayectoria de la fuerza de corte	18
9 Troquel simple.....	19
10 Troquel compuesto	19
11 Troquel progresivo	20
12 Partes de un troquel	21
13 Porta punzones o base superior	21
14 Porta matriz.....	22
15 Vástago roscado.....	22
16 Ángulo de salida de la matriz de corte	23
17 Placa guía.....	24
18 Troqueles compuestos fabricados con aceros de alta dureza y resistencia.....	26
19 Posicionamiento de orificios de pernos de registro a prueba de errores.....	29
20 Mínima distancia C recomendada	29
21 Tamaños sugeridos de matrices estandarizadas.....	30
22 Pieza a troquelar	34
23 La tira de corte	36
24 Tira de desecho Td	36
25 La tira de corte tomando en aspectos.....	38
26 Posicionamiento de la geometría en la lámina	39
27 Determinación del centro de gravedad	47
28 Corte transversal de la matriz mostrando la vida útil y el ángulo de escape	47
29 Software NX croquis de las piezas 3D	51
30 Diseños en 2D.....	52
31 Herramientas.....	52
32 Pieza 1.....	53
33 Pieza 2.....	53
34 Pieza3.....	54
35 Pieza 4.....	54
36 Pieza 5.....	55
37 Placa 1.....	56
38 Placa 2.....	56
39 Punzón de corte cuerpo.....	57

40	Punzón de corte destapador	58
41	Punzón de estampado	58
42	Punzón de perforación	59
43	Perno de sujeción	59
44	Espacio de manufactura	60
45	Aplicación de fabricación	60
46	Especificación de la geometría	61
47	Adición de la materia prima para la elaboración	61
48	Agregar el tipo de material	61
49	Crear los tipos de herramientas	62
50	Agregar un nombre a la herramienta	62
51	Crear una operación	63
52	Parámetros y método de entrada de la herramienta	64
53	Parámetros de corte	64
54	Operación de contorno	65
55	Seleccionar el objeto	65
56	Perforación en el centro de la placa en el torno CNC	67
57	Taladrado de los 4 orificios	68
58	Punzón de corte cuerpo	69
59	Punzón de corte destapador	70
60	Punzón de estampado	70
61	Punzón de perforado	71
62	Proceso de torneado del punzón	71
63	Vástago de sujeción	72
64	Placa superior principal	73
65	Mecanizado de la placa superior principal	73
66	Placa porta punzones	74
67	Placa guía de punzones	75
68	Placa matriz	76
69	Placa base inferior	77
70	Placa separadora 1	78
71	Placa separadora 2	78
72	Pasador de centro 1 y 2	79
73	Dimensiones de perno M8	79
74	Grafica del ensamble del troquel	80
75	Ensamble del troquel	80
76	Conjunto explotado	81

LISTA DE ABREVIACIONES

CNC	Control Numérico Computarizado
CAD	Diseño asistido por computadora
CAM	Manufactura asistido por computadora
CN	Control numérico
ISO	Organización Internacional de Normalización
RG	Registro
PRC	Procedimiento
PNC	Producto No Conforme
CPU	Unidad Central de Proceso
ISO	Organización Internacional de Normalización

LISTA DE ANEXOS

A Códigos ISO

RESUMEN

La presente investigación desarrolla la modelación de una matriz de corte en la producción de llaveros con el logotipo de la Escuela de Ingeniería Industrial utilizando la tecnología CAD–CAM, con el propósito de desarrollar productos de acuerdo a los avances tecnológicos en la manufactura, el troquelado es un proceso empleado en la industria, esta operación se realiza en frío utilizando máquinas llamadas prensas, obteniendo piezas metálicas empleadas en automóviles, camiones, aviones, trenes, tractores, etc. El desarrollo de una matriz de troqueles parte de una investigación de los tipos de matrices de corte existentes en la actualidad para obtener los cálculos de esfuerzos de corte y selección de material adecuada garantizando el tiempo de vida útil de la matriz, el diseño de troqueles es parte fundamental en el proceso de manufactura, del diseño se efectuó los programas de los códigos ISO que interpretan las máquinas CNC, parte fundamental en el proceso de manufactura es el cálculo de parámetros de corte de las herramientas a utilizarse al mecanizar la matriz. Efectuada la investigación sobre las matrices de corte, su diseño y fabricación mediante la tecnología CAM se determinó que cada máquina CNC tiene una forma diferente de interpretar los códigos de programación. El uso de nuevas tecnologías en la producción de matrices de corte tiene mucha relevancia, mejora tiempos de producción y la calidad de los productos es superior a trabajos realizados de forma convencional. Tener bien forjadas las bases de ingeniería es de alta relevancia en este y cualquier otro trabajo relacionado, esto permite saber lo que se hace y tomar las decisiones adecuadas, para este trabajo.

PALABRAS CLAVE:

< DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD) >, < MANUFACTURA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAM) >, < CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (CNC) >, < ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN (ISO) >, < CONTROL NUMÉRICO (CN) >, < INGENIERIA DE SOFTWARE >, < MÁQUINA Y HERRAMIENTAS >, < TECNOLOGÍA DEL DISEÑO >

ABSTRACT

This research develops the modeling die in the production of key rings with the logo of school of Industrial Engineering using CAD-CAM technology, with the purpose of developing products according to technological advances in manufacturing, the die cut is a process used in industry, this is done using machines called cold presses, obtaining metal parts used in automobiles, trucks, airplanes, trains, tractors, etc. The development of a cut die matrix starts in a investigation of the matrix types existing at the present in order to obtain the calculation of cutting effort and the selection of suitable material guaranteed in their life time of the matrix, the cut die is fundamental part of the manufacturing process, the design was carried out the programs of the ISO codes which interpret the CNC machines, a fundamental part in the manufacturing process is the calculation of cutting parameters of tools to be used hen machining the matrix. After the investigation about cutting matrixes, their design and manufacturing through the CAM technology it determined that each CNC machine has different form of interpreting programing codes. The use of new technology in the production of the cutting matrixes has a relevance, enhance the production time and the quality of the products of the better to the jobs done in a conventional way. To have a support in the engineering bases is very relevant in this and other type of job related with it, this allows knowing what we do and also take appropriate decisions for this job.

KEY WORDS:

< COMPUTER ASSISTED DATA (CAD) >, < COMPUTER ASSISTED MANUFACTURING (CAM) >, < CCOMPUTERIZED NUMERICAL CONTROL (CNC) >, < INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION (ISO) >, < NUMERICAL CONTROL (CN) >, < SOFTWARE ENGINNERING >, < MACHINE AND TOOLS >, < TECHNOLOGY DESIGN >

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Hace diez años atrás, la matricería de troqueles en el Ecuador representaba fuertes inversiones, tiempo de producción prolongados, además era considerada un trabajo sumamente complicado, pero con la adaptación de nuevas tecnologías ha permitido un avance notable en los procesos de manufactura.

Actualmente se está convirtiendo en tendencia que grandes empresas manufactureras adquieran maquinaria con tecnología CNC (Control Numérico Computarizado) para la elaboración de sus productos, que combinados junto a los diferentes software CAD-CAM se puede realizar una diversa variedad de productos o elementos mecánicos como una matriz de corte, ayudando con el progreso de la industria nacional generando un valor agregado a la producción acorde a la demanda existente del mercado en torno a la utilización de equipos de última tecnología.

La matricería en la actualidad se utiliza para producir piezas en gran escala, obteniendo excelente uniformidad de características mecánicas y dimensionales con un buen acabado superficial de las piezas eliminando cuellos de botella y maximizando las utilidades de una empresa.

1.2 Justificación

El CAD/CAM es una rama indispensable de la ingeniería por lo cual en la Escuela de Ingeniería Industrial de la Facultad de Mecánica se imparte conocimientos esenciales en la formación de profesionales, sin embargo por el gran avance tecnológico es necesario que los estudiantes estén capacitados para competir en las diferentes empresas por lo tanto el prototipo de matriz de corte que realizaremos ayudara de manera significativa en la formación académica para estar a las exigencias que hoy en día existe en el sector industrial de nuestro país

El Ingeniero Industrial con este proyecto aplica los conocimientos para laborar en cualquier campo ocupacional en el que está relacionado como de bienes y servicios. Nuestro proyecto permitirá y ayudara implementando el laboratorio de CAD-CAM para la Escuela de Ingeniería Industrial que garantice un alto nivel la formación de los futuros profesionales. Este sistema CAD/CAM desarrollado para la modelación de una matriz de corte de llaveros, tendrá bases para la formación de profesionales que puedan elaborar y desarrollar gran variedad de productos para los distintos campos industriales acorde a las exigencias del mercado.

Los beneficios de utilizar este sistema incrementan notablemente la productividad del trabajo al minimizar errores en el diseño y la manufactura, aumentando la calidad del producto terminado, en varias universidades se continúa utilizando como una herramienta académica el software de CAD - CAM, notándose que los estudiantes se motiven y desarrollen mejores sus habilidades.

Debido a la importancia de las matrices en la producción en serie es necesario que un ingeniero industrial conozca lo básico acerca de este tipo de proceso para su formación, puesto que está relacionada íntimamente con los distintos procesos metalúrgicos. Es decir, es el más exacto de los trabajos en máquinas herramientas para demandas de gran volumen por lo cual se realizara esta modelación.

La presente investigación tiene trascendencia pues se pretende modelar una matriz de corte en la producción de llaveros con el logotipo de la escuela de Ingeniería Industrial utilizando la tecnología CAD – CAM, se va a utilizar la maquina CNC BRIDGEPORT VMC de 3 ejes, perteneciente al Laboratorio de Máquinas y Herramientas, para comprobar de manera práctica sus capacidades, por medio de la fabricación de una matriz para producción en lotes, impulsando el desarrollo tecnológico para la obtención de productos de calidad.

1.3 Objetivos

1.3.1*Objetivo general.* Modelar una matriz de corte en la producción de llaveros con el logotipo de la escuela de Ingeniería Industrial utilizando la tecnología CAD – CAM

1.3.2 *Objetivos específicos:*

- Investigar las características técnicas y el funcionamiento de la matriz de corte.
- Realizar los cálculos básicos de la matriz de corte.
- Modelar las partes principales que constituyen la matriz de corte mediante el software CAD.
- Desarrollar el algoritmo utilizando el software CAM.
- Elaborar la matriz de corte aplicando CNC.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 El CAD/CAM desde el punto de vista industrial

El CAD/CAM es una tecnología (tanto hardware como software) guiada por la industria. La industria aeroespacial, de automoción y naval, principalmente, han contribuido al desarrollo de estas técnicas. Por lo tanto, el conocimiento de cómo se aplican las técnicas CAD/CAM en la industria es fundamental para la comprensión de las mismas.

La mayoría de las aplicaciones incluyen diferentes módulos entre los que están modelado geométrico, herramientas de análisis, de fabricación y módulos de programación que permiten personalizar el sistema. Hay tres tipos de modelado geométrico, alámbrico, de superficies y sólido que se estudiarán en temas posteriores.

Las herramientas de modelado geométrico realizan funciones tales como transformaciones geométricas, planos y documentación, sombreado, coloreado y uso de niveles. Las herramientas de análisis incluyen cálculos de masas, análisis por elementos finitos, análisis de tolerancias, modelado de mecanismos y detección de colisiones. En algunas ocasiones, estas aplicaciones no cubren las necesidades específicas de un determinado trabajo, en cuyo caso se pueden utilizar las herramientas de programación para suplir estas carencias. Una vez que el modelado se completa, se realizan los planos y la documentación con lo que el trabajo queda listo para pasar a la fase de CAM en la que se realizan operaciones tales como planificación de procesos, generación y verificación de trayectorias de herramientas, inspección y ensamblaje.

2.2 Sistemas de producción CAD/CAM y CNC

2.2.1 *Diseño asistido por computadora (CAD).* Los sistemas CAD así como su nombre lo indica son software especializados en el dibujo y diseño de una forma profesional y altamente confiable, todo esto mediante herramientas virtuales que proporcionan una precisión milimétrica. Su uso está destinado a trabajos de

Ingeniería, arquitectura y cualquier otra función donde se requiera un sistema de diseño rápido, eficaz y confiable.

Gran cantidad de sistemas CAD proporcionan ambientes de trabajo en 2 y 3 dimensiones, además implementa simulaciones virtuales de carga, tensión, presión, deformación, impacto, etc. Sobre los elementos diseñados para mejorar las características funcionales del objeto a diseñar.

2.2.2 *Manufactura asistida por computadora (CAM).* Los sistemas CAM proporcionan un ambiente virtual de trabajo para ayudar en todas las fases de la manufactura de un producto. Este software permite la fabricación virtual de piezas diseñadas según nuestras necesidades.

Estos sistemas permiten una simulación de fabricación ya sea fresado, torneado o taladrado, con lo cual es posible la selección de herramientas, el cambio en la trayectoria de la herramientas para evitar colisiones, con prensas soportes u otros objetos, velocidad de maquinado y lo más importante es que permite la detección de errores durante el proceso de fabricación lo cual implicaría daños en el equipo, en la pieza a fabricar y posibles riesgos para el operador.

Por lo general, los equipos CAM conllevan la eliminación de los errores del operador y la reducción de los costes de mano de obra. Sin embargo, la precisión constante y el uso óptimo previsto del equipo representan ventajas aún mayores.

Por ejemplo, las cuchillas herramientas de corte se desgastarán más lentamente y se estropearían con menos frecuencia, lo que reduciría todavía más los costes de fabricación. Frente a este ahorro pueden aducirse los mayores costes de bienes de capital o las posibles implicaciones sociales de mantener la productividad con una reducción de la fuerza de trabajo.

2.2.3 *Relación CAD/CAM.* Debido a sus ventajas, se suele combinar el diseño y la fabricación asistidos por computadora en los sistemas CAD/CAM. Esta combinación permite la transferencia de información desde la etapa de diseño a la etapa de planificación para la fabricación de un producto, sin necesidad de

volver a capturar manualmente los datos geométricos de la pieza. La base de datos que se desarrolla durante el CAD es procesada por el CAM, para obtener los datos y las instrucciones necesarias para operar y controlar la maquinaria de producción, el equipo de manejo de materiales y las pruebas e inspecciones automatizadas para establecer la calidad del producto.

El surgimiento del CAD/CAM ha tenido un gran impacto en la manufactura al normalizar el desarrollo de los productos y reducir los esfuerzos en el diseño, pruebas y trabajo con prototipos. Esto ha hecho posible reducir los costos de forma importante, y mejorar la productividad generando mayores recursos económicos para la empresa.

Ejemplos de aplicaciones, características y funciones CAD/CAM:

- Control de calidad e inspección
- Diseño de moldes para fundición
- Datos para operaciones de trabajo de metales
- Diseño de herramientas, sopones, y electrodos para electroerosión.
- Control de calidad e inspección.
- Planeación y calendarización de proceso.
- Producen pre visualizaciones foto realistas animadas del elemento diseñado.
- Simulación de procesos de fabricación

2.2.4 *Sistemas CNC.* (Control numérico por computadora). Una vez realizado el diseño y la simulación del maquinado de la pieza a producir en los sistemas CAD/CAM se llevara a cabo la fabricación en máquinas CNC, ya que sobre la base de esta combinación es posible generar la mayoría (si no son todas) las piezas de la industria.

CNC es el lenguaje de programación en base a instrucciones, coordenadas y códigos numéricos almacenados en archivos informáticos, para controlar las tareas de fabricación.

2.2.5 *Relación CNC – CAD/CAM.* Este Control Numérico por Computadora (CNC) se obtiene ya sea de forma manual por medio de razonamientos y cálculos que

realiza un operario que tenga conocimiento del lenguaje de programación CNC, o de forma automática. En este caso, los cálculos y la conversión al lenguaje CNC los realizan los sistemas CAD/CAM, que suministra en su salida el programa de la pieza en lenguaje máquina. Por esta razón recibe el nombre de fabricación asistida por computadora, donde se parte de un diseño y se generan operaciones de acuerdo a la necesidad.

En resumen una vez realizado el diseño y la simulación de maquinado de una pieza según nuestras especificaciones los software tipo CAD/CAM convertirán los datos que hemos suministrados para el diseño y fabricación de nuestra pieza a lenguaje máquina en este caso CNC, el cual es interpretado por dispositivos con sistemas CNC, todas las máquinas CNC interpretan códigos estandarizados lo único diferente es el encabezado que corresponde a cada máquina y acorde al tipo de post procesador va la extensión del archivo.

2.2.6 *Ventajas y desventajas del CNC*

2.2.6.1 *Ventajas del CNC:*

- Reducción de los tiempos de ciclos operacionales: las causas principales de la reducción al mínimo de los tiempos superfluos son:
- Ahorro de herramientas y utillajes: Por la utilización de herramientas más universales; y en cuanto a utillaje por el menor número de operaciones en máquinas distintas.
- Reducción del porcentaje de piezas defectuosas.
- Reducción del tiempo de cambio de las piezas.
- Reducción del tamaño del lote.
- Reducción del tiempo de inspección: ya que la probabilidad de que se produzcan piezas defectuosas dentro de una serie es menor y se puede evitarse inspecciones intermedias entre ciclos.

2.2.6.2 *Desventajas del CNC:*

- Necesidad de realizar un programa previo al mecanizado de la primera pieza.
- Coste elevado de herramientas y accesorios.
- Conveniencia de tener una gran ocupación para la máquina debido a su alto costo.

2.2.7 *Elementos básicos de una Máquina –Herramienta CNC.* Los elementos constitutivos y que conforman la base de un CNC para toda máquina herramienta son:

2.2.7.1 Programa de instrucciones. Es una serie de sentencias ejecutadas paso a paso que directamente dirigen el equipo de procesado. El programa se escribe en un lenguaje especial (código).

2.2.7.2 El control numérico (CN). Es la unidad que debe interpretar las instrucciones contenidas en el programa, convertirlas en señales que accionen los dispositivos de las máquinas y comprobar su resultado.

2.2.7.3 El equipo de procesamiento. Es el componente que realiza el trabajo útil, y lo forman la mesa de trabajo, las máquinas herramienta, el sistema de cambio de herramienta y pieza, así como los motores y mecanismos de posicionamiento que son manipulados por el controlador.

2.2.7.4 Sistemas de cambio de herramientas y de piezas. Es la línea que proporciona a la máquina el mayor grado de automatismo, se hace necesario incluir algún sistema que permita reducir al mínimo los tiempos en los que no está mecanizando. Entre los sistemas utilizados se encuentran los de cambio automático de herramientas y de piezas.

2.2.7.5 Mecanismos de posicionamiento. Tienen como objeto conducir los dispositivos móviles (carros, husillos, etc.) automáticamente a una posición determinada según una trayectoria especificada con unas condiciones adecuadas de precisión,

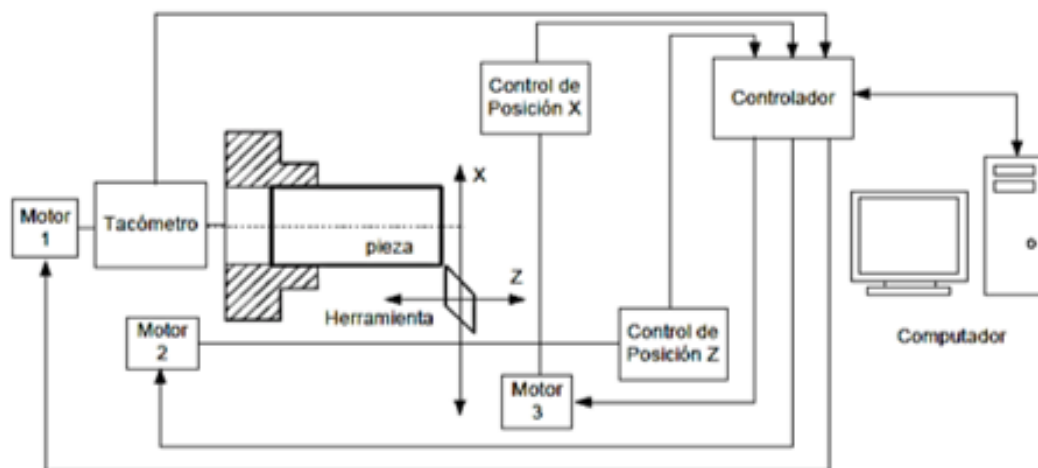
velocidad y aceleración. Los componentes básicos de los mecanismos de posicionamiento son los accionadores y el propio sistema de control de posicionamiento. Se entienden por accionadores aquellos dispositivos que permiten realizar algún movimiento (motores, válvulas, etc.), incluyendo todos los dispositivos asociados de regulación y amplificación de la señal de mando.

2.2.7.6 Unidad de enlace con la máquina. Que es por donde está enlazado la máquina-herramienta a través de los órganos de mando y control sobre los motores que accionan los órganos móviles (husillos de los carros y mesas) para que su movimiento se ajuste a lo programado un buen enlace permite el correcto funcionamiento de la maquinaria.

2.2.7.7 CPU (Unidad Central de Proceso) o microprocesador. Es el encargado del control de los elementos que componen la máquina en función del programa que ejecuta. Básicamente, accede a las instrucciones del programa, las decodifica y ejecuta las acciones especificadas, además de calcular todas las operaciones aritmético-lógicas que precise, aquí es donde se almacena toda la información de los procesos de manufactura.

2.2.7.8 Visualizadores de datos. Son monitores que permiten que el operador controle la marcha de la programación o del proceso de mecanizado, además de conocer el estado de la máquina a través de los mensajes que aparecen en el mismo dispositivo.

Figura 1. Elementos básicos de una máquina CNC



Fuente: (LÒPEZ, 1976)

2.2.8 *Tipos de Controladores.* Dentro del mundo de los Controladores CNC existen firmas que lideran, bajo especificaciones técnicas sus propios controladores, podemos mencionar alguno de ellos:

FANUC, SIMUMERIK, MITSUBISHI, GSK, HNC, KND, WA, SKY, HAAS, GREAT, RENHE, FAGOR, DASEN.

2.2.9 *Clasificación de los Controles Numéricos.* Debido a las diferencias que existen entre las máquinas que pueden ser gobernadas por un CN, a las dificultades técnicas en el diseño de los controladores y a condiciones tipo económico, en el mercado existen diversos tipos de CN que pueden clasificarse:

- Según el sistema de referencia.
- Según el control de las trayectorias.
- Según el tipo de accionamiento.
- Según el bucle de control.
- Según la tecnología de control.

2.2.10 *Lenguaje de programación CNC.* El lenguaje de programación de un sistema de control determina las reglas con las que deberán construirse los bloques de programa en un programa CN-CNC.

Las bases del lenguaje de programación usado en sistemas de control CNC están estandarizadas internacionalmente. La norma DIN 66025 "Desarrollo de programas para máquinas de control numérico" coincide en contenido con el estándar internacional ISO/DIS 6983 y ISO/DP 6983 "Control numérico de máquinas".

2.2.11 *Programación de CNC con códigos G y M.* La programación nativa de la mayoría de las máquinas de Control Numérico Computarizado se efectúa mediante un lenguaje de bajo nivel llamado G y M. Se trata de un lenguaje de programación vectorial mediante el que se describen acciones simples y entidades geométricas sencillas (básicamente segmentos de recta y arcos de circunferencia) junto con sus parámetros de maquinado (velocidades de husillo y de avance de herramienta y profundidad de corte por cada pasada).

El nombre G y M viene del hecho de que el programa está constituido por instrucciones Generales y Misceláneas. A pesar de tratarse de un lenguaje de programación muy básico y rudimentario para los tiempos actuales, lo robusto de su comportamiento y su estandarización hacen funcionar máquinas de CNC a nivel mundial. A modo de ejemplo, presentamos algunos de los códigos de programación más utilizados en tornos y fresadoras de CNC. Existe diferencia de códigos de acuerdo al tipo de post procesador que cuente la máquina, cabe recalcar que en las máquinas tienen diferente forma de interpretar los códigos por tal motivo hay códigos diferentes.

Según el fabricante algunos de los códigos pueden ser distintos a los citados a continuación (No todos los códigos G se aplican a cada máquina cada una interpreta los códigos de diferente manera):

Tabla 1. Lista de Códigos G CNC

Comando	Descripción
G00	Posicionamiento rápido
G01	Interpolación lineal
G17	Selección del plano X –Y
G21	Comienzo de uso de unidades métricas
G28	Volver al home de la máquina
G40	Anulación de compensación de radio
G43	Compensación de longitud
G49	Anulación de compensación longitudinal del cortador
G80	Anulación de ciclos fijos
G90	Uso de coordenadas absoluta
G91	Uso de coordenadas incrementales

Fuente: Autores

Tabla 2. Lista de Códigos M CNC

Comando	Descripción
M03	Giro del husillo en sentido horario
M05	Parada del husillo
M08	Encendido del refrigerante
M09	Apagado del refrigerante
M25	Herramental en ejecución
M30	Fin del programa y regreso al inicio del mismo.

Fuente: Autores

Sólo un código M puede programarse dentro de cada bloque. Si más de un código M se programa, el controlador de la máquina realizará sólo el último código M declarado en la programación.

2.2.11.1 Ciclos Especiales. Los ciclos especiales o ciclos grabados, son secuencias pre programadas de movimientos repetitivos de la herramienta, que están insertos en el sistema de control para operaciones comunes tales como taladrado, golpe, ampliado y envoltura (*pocketing*). Su propósito es reducir la cantidad de códigos de programa que normalmente se debería escribir. Los ciclos grabados son códigos G que son opciones adquiridas con una CNC, pero algunos son equipamiento estándar, dependiendo del fabricante.

El Ciclo de Taladrado (G81) se utiliza para taladrar múltiples agujeros sin programar cada movimiento por separado.

El Ciclo de Encarado (G77) se usa para eliminar material (normalmente ubicado en la parte superior de la pieza) el cual puede estar ubicado dentro de un área rectangular.

El Ciclo de Envoltura Rectangular (G78) se usa para eliminar material ubicado dentro de un área rectangular.

El Ciclo de Envoltura Circular (G79) se usa para eliminar material ubicado dentro de un área circular. (AVILES, 2004)

2.2.12 Código F. Feed = Alimentación o avance de mecanizado, es la velocidad con que se mueve la máquina en la operación de mecanizado, generalmente en las operaciones de torneado se utiliza el avance de mecanizado en milímetros por revolución, si programamos F0.1 la máquina se moverá en la operación de mecanizado a 0.1 milímetros por revolución o vuelta de la copa. (mm/rev).

En los movimientos donde se necesita mecanizar sin que gire el husillo, se programa el avance de mecanizado F en milímetros por minuto, (en el caso de tornos fresadores con herramienta motorizada) si se programa F80 la máquina se moverá a 80 milímetros por minuto (mm/min), el avance siempre va a la par con el número de revoluciones del husillo. (ROJA, 2006)

2.2.13 *Código S.* Se usa este código para programar la velocidad del husillo en la fresadora o la velocidad de la pieza en el torno, por ejemplo:

S1250 indica que la velocidad del husillo o pieza es de 1250 r.p.m

2.2.14 *Código T.* Tool = Herramienta de trabajo, la programación del número de herramienta se hace de acuerdo con el orden operacional del mecanizado específico de una pieza , es decir, si vamos a roscar una pieza, la primera herramienta T0101 será la broca centro , la segunda herramienta T0202 será la broca, la tercera herramienta T0303 el macho de roscado, y así sucesivamente.

Los dos primeros dígitos del código T se refieren al número de posición de la herramienta en la torreta, y los dos siguientes al corrector de la compensación de la herramienta. Se programa T0000 Al inicio del programa para cancelar todas las compensaciones de herramienta que han quedado activadas. (ROJA, 2006)

2.2.15 *Códigos X, Z, U, W.* Estos códigos se utilizan para designar las coordenadas de trabajo en el torno. En un torno el eje X (U coordenada incremental X) es el desplazamiento del carro trasversal, determinando los diámetros de la pieza de trabajo, el eje Z (W coordenada incremental Z) es el desplazamiento del carro longitudinal, determinando las longitudes de la pieza. Además de estos códigos podemos encontrar los códigos C, (H coordenada incremental C)) para designar el tercer eje, que generalmente es un eje giratorio, utilizado en los tornos fresadores con herramienta motorizada (también llamada herramienta viva). El eje C es la copa que funciona como eje giratorio indexando en grados o interpolando con los ejes X, Z. En este tipo de tornos se puede taladrar, fresar o roscar frontalmente fuera del centro de la pieza, y taladrar, fresar o roscar en sentido trasversal al eje de la pieza de trabajo.

Estos códigos van acompañados de valores numéricos X120. Z50. Que son las coordenadas a donde debe desplazarse la máquina según la orden dada.

Podemos encontrar otros códigos como I, K, coordenadas del centro de un arco, P código empleado para un tiempo de espera, Q código utilizado en ciclos de torneado, etc., que se explicarán más adelante en la interpretación de códigos.

2.3 Procesos de troquelado

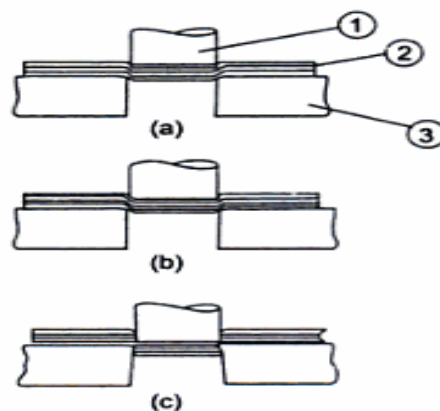
El troquelado se define como un proceso mecánico de producción industrial que se utiliza para trabajar en frío lámina metálica y fabricar completa o parcialmente piezas por medio de una herramienta (troquel), conformada por un punzón y una matriz, también llamados “macho” y “hembra”, respectivamente.

Troquelar es un arte metalmecánico muy importante para la industria, ya que siempre se busca fabricar productos más eficientes, resistentes, de calidad y económicos que los obtenidos con cualquier otro proceso productivo como fundición, forja o mecanizado. Es utilizado en gran variedad de sectores: electrodomésticos (línea blanca), automotriz, aeronáutico, naval, electrónico e informático. Está enfocado en aprovechar al máximo el material para fabricar la mayor cantidad de piezas con el menor tiempo y costo posible.

Mediante una prensa, el troquel ejerce presión sobre el material, supera su límite elástico para transformarlo, ya sea para cortar, doblar o pasar de una lámina plana a una geometría tridimensional, mediante un proceso de embutido.

La base superior del troquel, está el punzón, se coloca en el ariete (martillo) de la prensa, en la mesa de trabajo se sujeta el porta matriz o base inferior, con la matriz, en la mitad se ubica la lámina; el punzón penetra la matriz impulsando por la potencia que le proporciona la prensa con un golpe sobre la lámina produce el corte, la deformación o la transformación de la lámina para la obtención de una pieza se muestra en la figura 2: (a) Penetración, (b) Deformación y (c) Fractura, 1. Punzón. 2. Lámina. 3. Matriz.

Figura 2. Principio de corte de metal

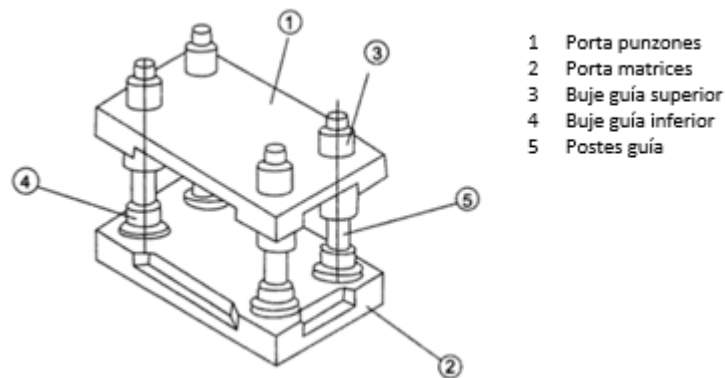


Fuente: (BAWA, 2007)

El centrado y desplazamiento de la base superior hacia la base inferior, se hace gracias a un sistema de postes guías que se deslizan con ayuda de bujes.

En la figura 3 se muestra un arreglo con cuatro guías, existen también con dos guías o incluso sin ellas, dependerá de la complejidad de la pieza a fabricar y el número de piezas a producir, la elección del tipo de arreglo o configuración más adecuada que debe adoptar el troquel. (BAWA, 2007)

Figura 3. Partes básicas de un troquel



Fuente: (BAWA, 2007)

Los procesos de troquelado son continuos, repetitivos y se desarrollan a una velocidad de hasta cientos de golpes por minuto, siendo muy útil para la fabricación de productos en serie y a un costo considerablemente bajo, respecto a otros métodos de manufactura. En este concepto se agrupan operaciones como corte, punzonado, doblado, embutición y conformación, unos ejemplos se observan en la figura 4. En todas las variantes del proceso, la precisión depende directamente de la exactitud y calidad del troquel.

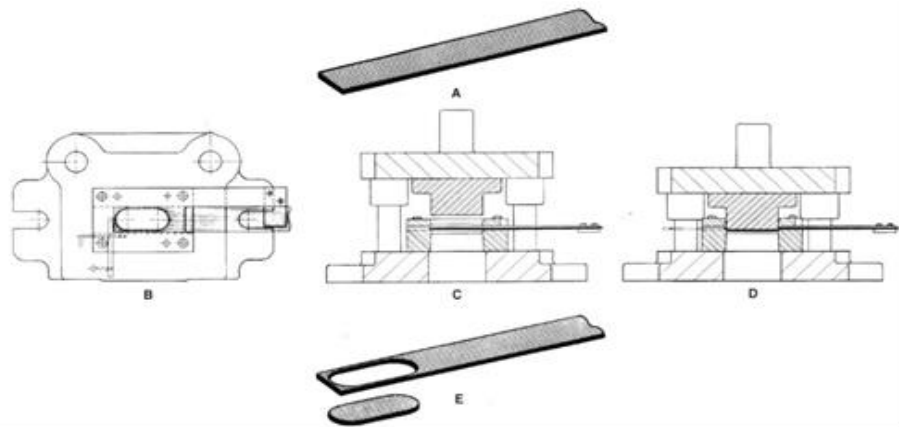
Figura 4. Piezas fabricadas por procesos de troquelado



Fuente: <http://nubr.co/bx3G3i>

Las operaciones en los procesos de troquelado son: el corte, y como un paso previo al corte de un perfil se considera el punzonado, además del proceso de doblado y el embutido. El proceso de corte se observa en la figura 5, utilizado para separar la pieza útil de la lámina mediante cizalladura con el punzón y la matriz; por su parte, en el punzonado, el troquel, genera agujeros con diferentes geometrías en la lámina. Una forma de diferenciar el proceso de corte con el punzonado es que en este último el material que se desprende de la lámina no forma parte de la pieza útil, a diferencia del corte que el material que se desprende de la lámina es la pieza final. En el proceso de doblado, la herramienta al aplicar fuerza sobre el material supera su límite elástico generando la geometría deseada, que pueden ser desde simples pliegues en el material así como geometrías más complejas.

Figura 5. Troquel de corte.



Fuente: (BOLJANOVIC, 2005)

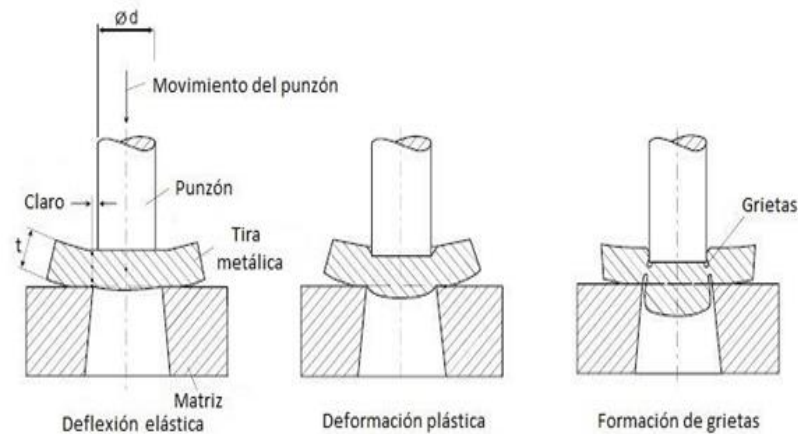
En la figura tenemos en: A. Tira de material. B. Vista superior del troquel. C. Troquel en posición abierta. D. Troquel en posición cerrada. E. Tira de material troquelada.

El proceso de embutido se utiliza ampliamente en la industria, para fabricar tapas, como las de las botellas de cerveza y refresco, o como las de botes de pintura, también para hacer tarjas, ollas y otros productos en forma de recipientes. (BOLJANOVIC, 2005)

2.3.1 *Fundamentos para la operación de corte.* Para realizar la operación de corte, se requiere una herramienta, la cual consta de punzón y matriz. Los pasos más importantes en el proceso de corte se explican a continuación con el ejemplo del desprendimiento de un disco de una tira de metal. La suposición aquí es que el diámetro del disco a cortar es mayor en comparación con el espesor de la lámina ($d > t$).

Las fuerzas de corte son transferidas a la pieza desde la cara final del punzón hasta la matriz. Debido a la resistencia de la tira, esta se flexiona entre el punzón y la matriz como se observa en la figura 6a.

Figura 6. Fases en el proceso de corte



Fuente: (LÓPEZ, 1976)

Al incrementar la acción de la fuerza en el punzón se ocasiona una deformación plástica en el material, el cual comienza a fluir. El punzón entonces penetra en la tira metálica como se muestra en la figura 6b. Con el incremento de la carrera de corte, la deformación de la orilla es transformada en una superficie de corte lisa, en la cual el tamaño es determinado por la capacidad de deformación del material. Como regla, las grietas se forman en la dirección de la matriz si la capacidad de fluir del material se ve restringida por el claro. Esto lleva a la separación del material causado por la fractura tal como se observa en la figura 6c.

Dependiendo de las propiedades del material y del claro, estas grietas pueden correr desde la orilla de la matriz hacia la orilla del punzón, causando una separación repentina y dejando una superficie de fractura en la zona de corte. Sin embargo, las grietas pueden correr una por arriba de otra y múltiples superficies de fractura se forman como resultado, con zonas de corte lisas distribuidas a lo largo de las orillas. Este fenómeno ocurre cuando el claro es muy pequeño y con el uso de materiales suaves.

2.3.1.1 Fuerzas de corte. Las fuerzas presentes durante el proceso de separación representan un parámetro esencial para la prensa y el diseño del troquel.

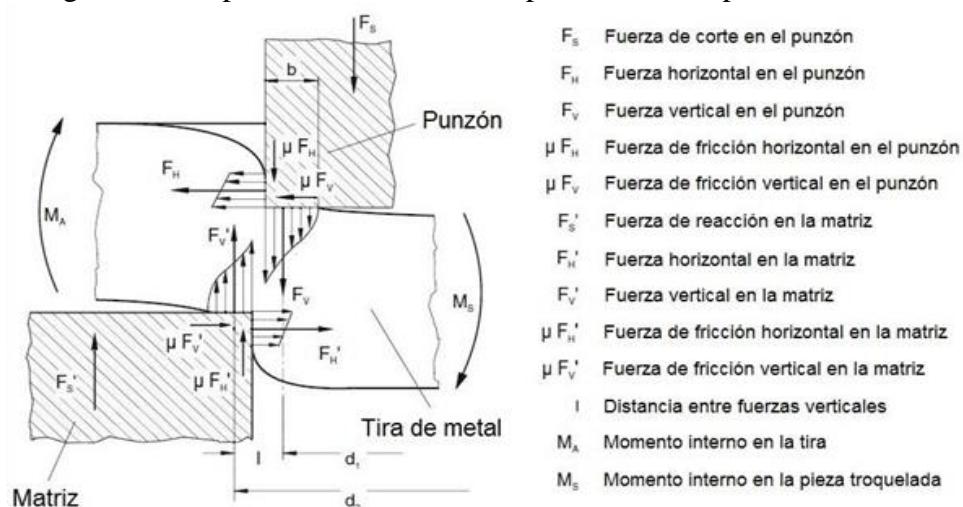
Los siguientes factores influyen en las fuerzas de corte:

- Resistencia del material al corte.
- Espesor del material.
- Longitud del borde de corte.
- El desgaste de la herramienta
- La calidad de la superficie de la herramienta
- Lubricación.

Esfuerzos de compresión radial están presentes entre el punzón, la tira metálica y en la matriz. Esta presión es la que genera el corte en la tira metálica de la que se va a obtener los llaveros. Estos esfuerzos ocasionan fuerzas de fricción, dependiendo de las condiciones de fricción (lubricación, calidad de la superficie del punzón) y de los esfuerzos radiales (dimensiones, materiales, forma de la herramienta) se procede a obtener las figuras deseadas, las fuerzas de retracción se pueden asumir con valores de 1% a 40 % de la fuerza de corte.

La Figura 7 muestra como las fuerzas de corte (F_S) en el punzón se descomponen en una componente horizontal (F_H) y una componente vertical (F_V). La fuerza de corte genera una fuerza de reacción (F_S') en la matriz, la cual también puede descomponerse en una componente horizontal (F_H') y otra vertical (F_V'). Las fuerzas verticales (F_V y F_V') comienzan desde el punzón y la matriz ocasionando esfuerzos de compresión durante el proceso de corte en un área estrecha en la cara del troquel o en la superficie de presión de la matriz.

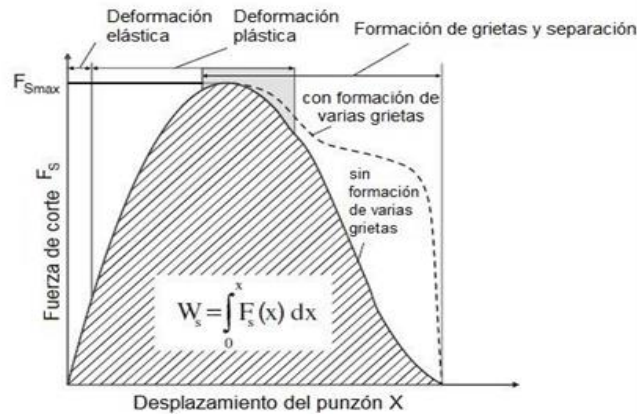
Figura 7. Componentes de las fuerzas presentes en el proceso de corte



Fuente: (LÓPEZ, 1976)

La Figura 8 muestra la trayectoria de la fuerza de corte. Al inicio del proceso, la tira es deformada elásticamente.

Figura 8. Trayectoria de la fuerza de corte



Fuente: (LÒPEZ, 1976)

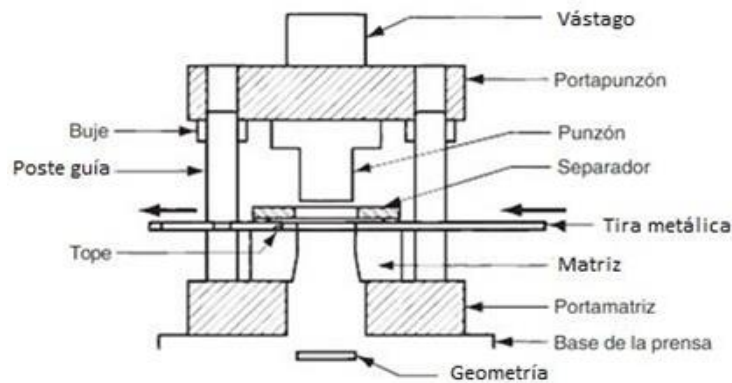
La propagación de las grietas ocasiona una rápida reducción en la fuerza de corte. En el caso de que existan varias grietas, uno o más puntos de inflexión aparecen en la trayectoria de corte después de que se ha alcanzado la máxima fuerza de corte.

2.3.2 Troqueles de corte. Al hablar de troquelado se requiere mencionar los troqueles o herramienta de corte, los cuales son contruidos considerando cuatro aspectos muy importantes: trabajo a realizar, características de la prensa, material a troquelar y número de piezas a producir. A medida que aumentan los requerimientos del trabajo, la capacidad de las prensas, las exigencias de los materiales y la necesidad de producir más y mejor, también se conciben diseños de troqueles con mayor complejidad y desarrollo (CROOVER, 2014).

2.3.2.1 Clasificación de los troqueles. Los troqueles se pueden clasificar en simples, compuestos y progresivos.

- Troqueles simples (de una estación o un paso): estos troqueles permiten realizar solamente una operación en cada golpe de la prensa, son de baja productividad y normalmente es necesario el uso de otros troqueles para poder concluir una pieza y considerarla terminada. Se utilizan para fabricar piezas sencillas como arandelas, accesorios y pequeñas partes para electrodomésticos, en figura 10 se observa un troquel simple. (CROOVER, 2014)

Figura 9 Troquel simple



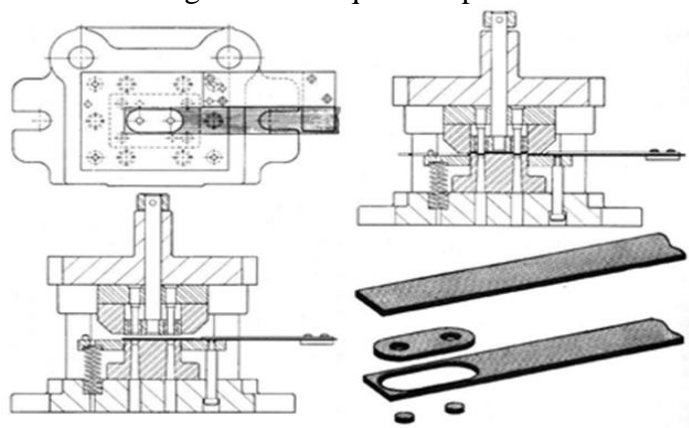
Fuente: (CROOVER, 2014)

- Troqueles compuestos (de dos o tres estaciones o pasos): son herramientas que permiten realizar dos o más operaciones en cada golpe y así agilizar el proceso. Generan mayor productividad y se utilizan para conformar tarjas, utensilios de cocina, recipientes, partes de estufas, etc.

Los troqueles compuestos son troqueles invertidos, el punzón A está fijo a la base en lugar de estar sujeto al brazo de la prensa como en los troqueles convencionales. La matriz B está sujeta al brazo de la prensa y está apoyada por un espaciador C, el cual retiene los punzones. Debido a que todas las operaciones son realizadas en la misma estación, los troqueles compuestos son más compactos.

En la siguiente Figura se muestran operaciones combinadas, donde se combina el corte y la perforación en la placa sin la necesidad que la placa superior de la matriz haga levantamientos innecesarios.

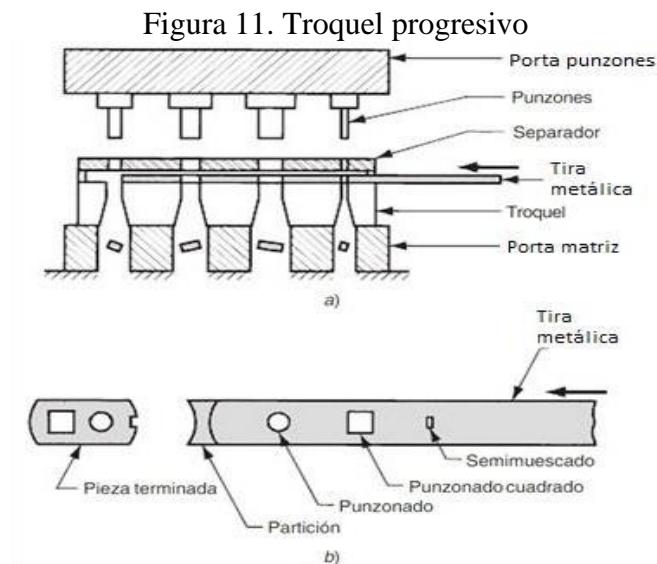
Figura 10. Troquel compuesto



Fuente: (BOLJANOVIC, 2005)

- Troqueles progresivos (múltiples estaciones o pasos): son troqueles complejos y de gran desarrollo. Llegan a tener decenas de etapas o pasos, en cada uno de ellos se modifica la lámina con una secuencia establecida por el diseñador (secuencia de corte), de tal manera que al final se obtiene una o varias piezas terminadas. En la Figura 11 se muestra un troquel progresivo. (FLORIT, 2005)

En un troquel de corte progresivo, los punzones entran en acción sucesivamente a medida que la lámina avanza a través del troquel. Son altamente productivos aunque su mantenimiento y operación es más compleja que en los otros casos y requiere de mayor capacitación del personal involucrado, son de alta eficiencia, precisión y calidad.

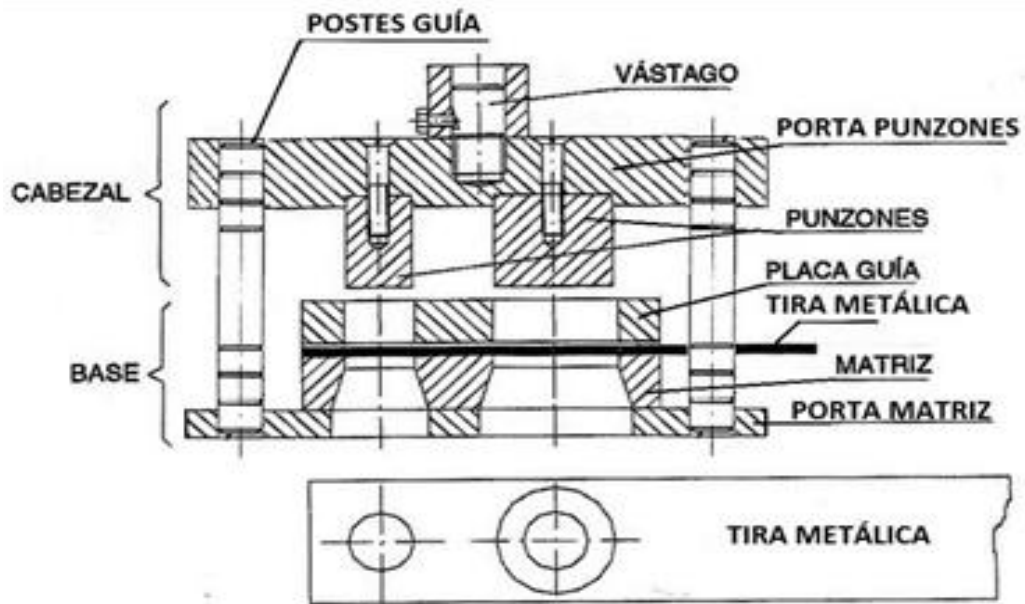


Fuente: (CROOVER, 2014)

2.3.3 Componentes de un troquel. Los troqueles cuentan con una serie de elementos constructivos que cumplen con una función específica dentro del conjunto general del trabajo para el cual han sido fabricados. Estos componentes, por sus características mecánicas deben estar cuidadosamente diseñados para lograr el objetivo de producir piezas sin ningún defecto. (FLORIT, 2005)

A continuación se describen las partes que de una u otra forma están presentes en casi todos los troqueles como se muestra en la figura 12, independientemente de su tamaño, aquí se observa un ensamble final de toda la matriz, permite observar todos los componentes de un troquel.

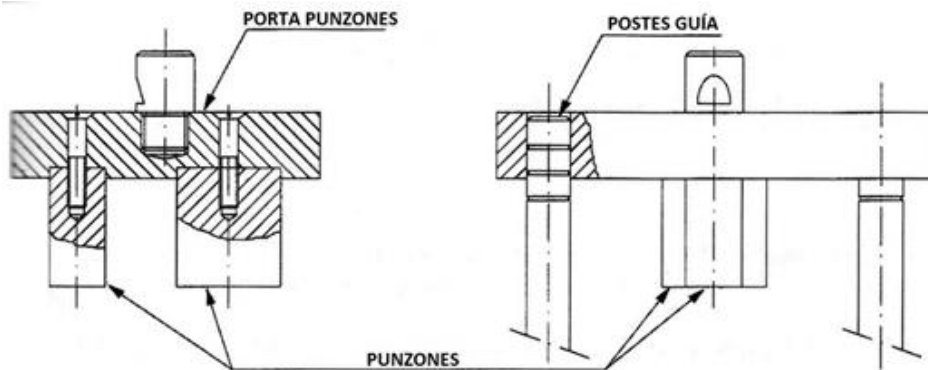
Figura 12. Partes de un troquel



Fuente: (LÓPEZ, 1976)

2.3.3.1 *Porta punzones o base superior (parte móvil).* Tiene la misión de contener en su superficie todas las placas y elementos para soportar los punzones del troquel. Estos punzones pueden ser de cualquier tipo o tamaño pero deben estar firmemente sujetos y guiados en el interior de dicha placa impidiendo que puedan moverse o desprenderse. También en ésta placa se encuentra acoplado el vástago, que la inmoviliza y fija durante todo el proceso de trabajo. Ésta conduce el movimiento de la máquina para que los punzones penetren la matriz y corten la lámina. es evidente que se requiere alta precisión al momento de elaborar la matriz debido a que todo debe considerarse perfectamente caso contrario se producen los atrapamientos de las guías dañando toda la matriz. La figura 13 muestra la porta punzones. Y los postes guías de la matriz.

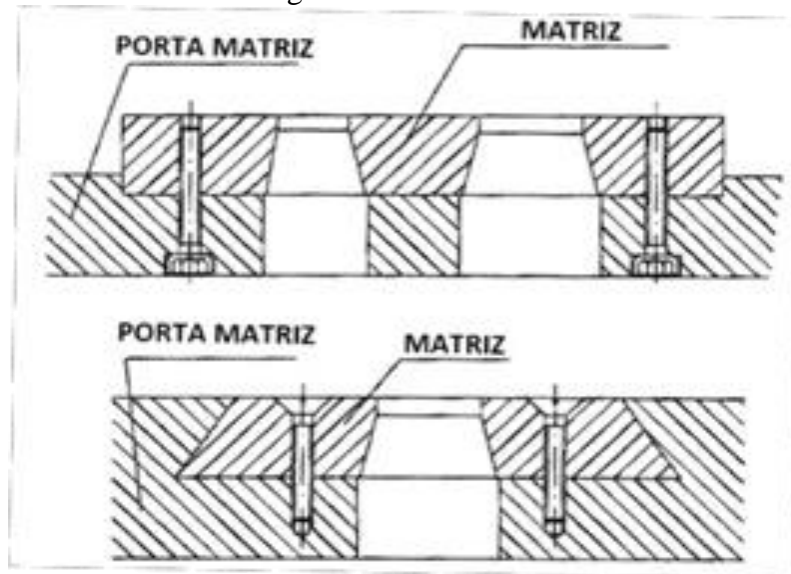
Figura 13. Porta punzones o base superior



Fuente: (FLORIT, 2005)

2.3.3.2 *Porta matriz o base inferior (parte fija).* Es el elemento sobre el cual van montados todos los componentes que hacen parte de la matriz, y a su vez, está sujeta fuertemente en la bancada de la prensa durante la fase de trabajo. Esta base y los elementos que lleva montados hacen las funciones de apoyo y absorción de esfuerzos, ya que recibirán toda la fuerza de transformación que la prensa aplique, en caso de tener que absorberlos la placa matriz, se corre el riesgo de fractura debido a su fragilidad. La figura 14 muestra los porta matrices. (FLORIT, 2005)

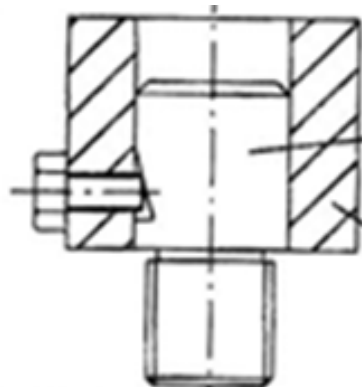
Figura 14. Porta matriz



Fuente: (FLORIT, 2005)

2.3.3.3 *Vástago.* Elemento que une el cabezal del troquel con la prensa. Básicamente tiene una parte roscada para fijarse a la placa porta punzones y cuenta con un rebaje para ajustarse al cabezal de la prensa. En la Figura 15 se aprecia el vástago.

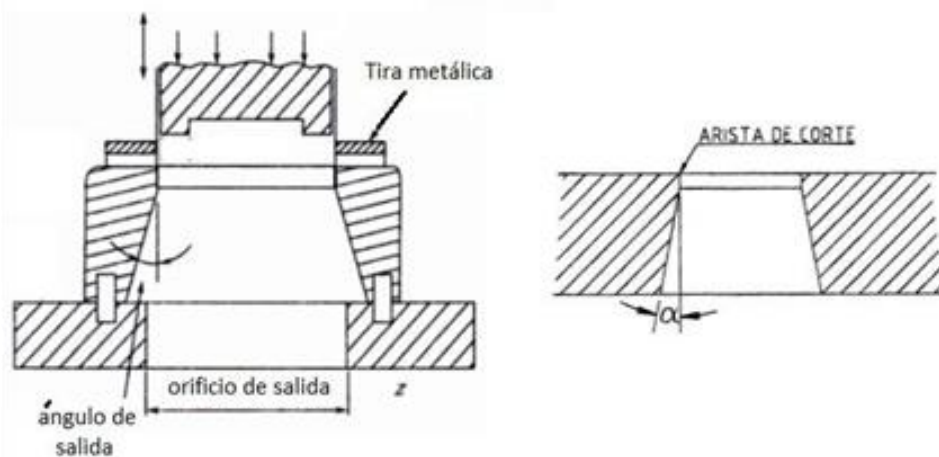
Figura 15. Vástago roscado



Fuente: (FLORIT, 2005)

2.3.3.4 Matriz. La matriz y el punzón son los elementos que producen el corte. La matriz presenta cavidades de la geometría de la pieza a obtener, a través de las cuales se introduce el punzón para provocar el corte del material. Para diseñar la matriz se deben considerar varios parámetros: el claro o juego entre el punzón y la matriz, el maquinado de las aristas de corte y el ángulo de salida (α) que facilita la extracción del material removido, tal como se muestra en la figura 16.

Figura 16. Ángulo de salida de la matriz de corte



Fuente: (BAWA, 2007)

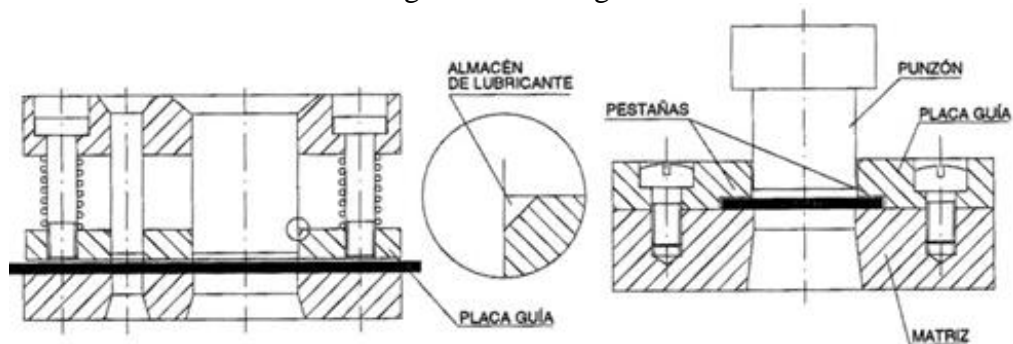
2.3.3.5 Pisador. Durante el movimiento descendente del troquel, la placa pisadora presiona la lámina manteniéndola fija en una posición (dejándola inmovilizada) antes de que los punzones lleguen a tocarla mientras penetran el material y lo desprenden. Una vez cortada la lámina, la función del pisador es mantener la pieza bien sujeta hasta que los punzones hayan salido de ella, de lo contrario, los punzones la podrían arrastrar hacia arriba sujetándose a ellos, con el riesgo de rotura o de obtener una pieza defectuosa. (FLORIT, 2005)

2.3.3.6 Punzones. Los punzones, también conocidos como ‘machos’, tienen por objeto realizar el corte de la lámina con la geometría deseada. Se habla de ‘punzones’ y no de punzón, porque en general la mayoría de troqueles llevan montados en su interior un gran número de ellos que pueden ser iguales o totalmente diferentes, según la función que desempeñen. Se cuida con especial atención la fabricación de los punzones, ya que deben estar perfectamente diseñados y maquinados, muy bien sujetos a la placa porta punzones, acorde a las dimensiones requeridas, con excelentes acabados y un adecuado tratamiento térmico. (FLORIT, 2005)

2.3.3.7 Sistema de guías. El movimiento de las dos partes más importantes del troquel (bases superior e inferior) necesita ser guiado en todo momento para garantizar una total concentricidad entre ambas. Esta función se deja a cargo de los postes guía que van montados generalmente en la base inferior y sus respectivos bujes, sistema que se encarga de posicionar y centrar las dos partes del troquel. El sistema de postes guía puede ser de dos tipos: el más habitual es por rozamiento, el cual debe ser muy bien lubricado para no forzarlo, el segundo es de rodamientos o canastilla con una serie de elementos esféricos, en el que las columnas están acompañadas por una guía lineal de cilindros con esferas en su superficie, lo que facilita el desplazamiento, con excelentes ventajas, pues, el movimiento del sistema es muy ligero, los desgastes por rozamientos son bajos y necesita poca lubricación y mantenimiento. (FLORIT, 2005)

2.3.3.8 Placa guía. La placa guía cumple con varias funciones; entre ellas la de hacer de guía de los punzones en su acción de corte, para lo cual se realiza un pequeño chaflán a todo el contorno superior de la placa que aloja al punzón para que facilite la entrada de los punzones y evitar que el material se aloje en los filos de corte, el chaflán sirve como pequeño almacén de lubricante que será arrastrado por el punzón. Otra de las funciones que cumple la guía es la de la extracción; con la acción de retroceso, la chapa queda adherida a los punzones, siendo extraída por los resortes o bien por las pestañas de la placa que sirven de guía a la lámina. En la figura 17 se observan las placas guía en el ensamble de la matriz. (FLORIT, 2005)

Figura 17. Placa guía



Fuente: (FLORIT, 2005)

2.3.3.9 Otros componentes. Para la construcción y funcionamiento de los troqueles se requiere de una gran variedad de componentes complementarios como, bujes, sujetadores, tornillos de fijación, guías, pernos de registro, sistemas de amarre y bridas de

sujeción, entre otros. Todos ellos forman el complejo sistema del troquel. (FLORIT, 2005)

2.3.4 *Materiales de los troqueles.* Los materiales empleados en la construcción de troqueles deben seleccionarse considerando determinados parámetros, los cuales dependen del tipo de trabajo que se quiera realizar. Un troquel destinado a punzonar piezas de latón de pequeño tamaño no requerirá un acero de tan elevada resistencia al desgaste como otro destinado a troquelar acero inoxidable. Así mismo, una matriz destinada solamente a trabajos de embutición, permite el empleo de fundición de hierro o de metales ligeros; depende del volumen de rendimiento que se desee obtener. Sin embargo los diversos aceros empleados en la construcción de esta clase de troqueles deben ser de alta resistencia al corte, muy estables al temple y de muy bajo índice de deformabilidad. (LÓPEZ, 1976)

Para cada caso particular de aplicación, el acero debe seleccionarse cuidadosamente. De la correcta selección depende mucho el tiempo de vida útil. Pueden indicarse, como orientación general, tres aspectos del problema que deberán tenerse presentes en la selección de un acero:

- En relación con las dimensiones del troquel.
- Con referencia al tipo de trabajo a realizar
- En relación con el tipo de material que se troquelara.

El troquelado es un trabajo típico de corte, y siendo efectuado por choque, el acero debe tener una elevada resistencia, entre más complejo sea el perfil de la pieza que se desea obtener, el punzón y la placa matriz tendrán más entrantes y salientes, lo que modifica evidentemente el momento de inercia de estas piezas, y especialmente del punzón.

El punzón deberá tener cierta dureza, que mantenga vivo el filo aun después de cortar un elevado número de piezas para lograr repetitividad en el proceso y reproducibilidad en las dimensiones de las piezas.

Muchos hierros fundidos y diferentes tipos de grados de acero son usados para manufacturar troqueles en la industria. La selección del material requiere una evaluación

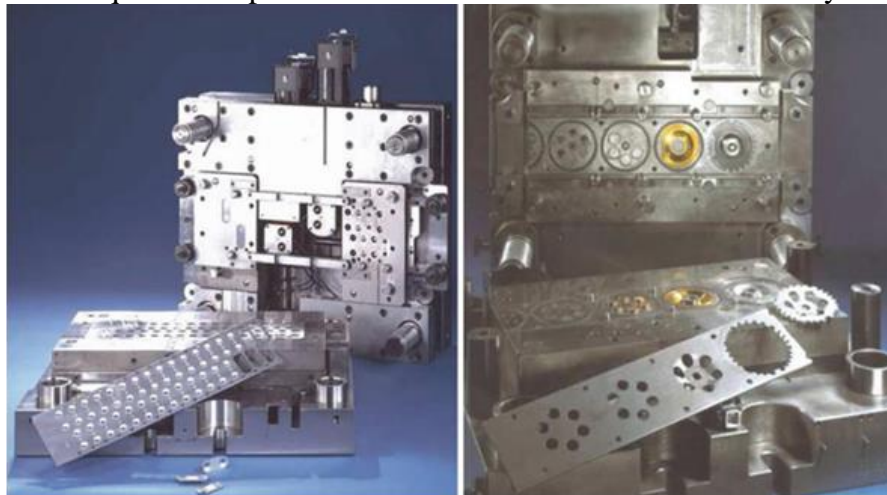
sistemática del material de la herramienta, recubrimientos, y tratamientos térmicos, considerados los costos como parámetro de evaluación, dichos parámetros garantizan la calidad de la fundición.

Los estudios de puntos de referencia dan una comparación numérica de la vida de la herramienta (número de partes troqueladas) por cierto material y recubrimiento. Los estudios se realizaron hasta que rasguños y defectos fueron visibles en la lámina troquelada. A continuación se mencionaran algunos de los materiales empleados en la fabricación de los componentes de los troqueles:

Para la fabricación, tanto de la base superior como la inferior, se usan placas de fundición o acero del tipo ASTM A36, o también placas de acero al carbono de mediana resistencia como el SAE/AISI 1045, o sus equivalencias en las diferentes marcas. Los materiales son tratados térmicamente por temple convencional y tienen una dureza superficial de 55-58 HRC.

Para la matriz el acero se elige según el número de piezas a fabricar, puede ser acero A36 o SAE/AISI 1045, para grandes producciones se prefieren materiales con mayor dureza, templabilidad y resistencia al desgaste como el SAE/AISI D2 (alto carbono, alto cromo), que después de templado y revenido puede alcanzar una dureza de 62-64 HRC, todos ellos, materiales que cumplen con las tres propiedades más importantes en la selección de aceros para trabajos en frío: tenacidad, resistencia al desgaste y elevada dureza como ya se mencionó anteriormente de que orden en magnitud.

Figura 18. Troqueles compuestos fabricados con aceros de alta dureza y resistencia



Fuente: (LÓPEZ, 1976)

En los punzones la elección de los aceros para su fabricación se hace según su función, para los punzones de corte se emplean materiales de alta resistencia al desgaste y con muy buena conservación del filo, por ejemplo el SAE/AISI D6 o D3, que pueden alcanzar una dureza de 62-64 HRC. Es necesario que los punzones tengan una buena conservación del filo por es la parte que más trabaja y la que va estar expuesta a mayor fuerza

- **Composición química- %promedio**

Tabla 3. Composición química del acero

Acero SAE/AISID2					
C	Mn	Si	Cr	Mo	V
1.55	0.35	0.35	11.8	0.85	0.85
Acero ASTM A36					
C	Mn	Si	P	S	
0.26	0.8-1.2	0.4	0.04	0.05	
Acero SAE/AISI1045					
C	Mn	Si	P	S	
0.43-0.5	0.6-0.9	0.15-0.3	0.04	0.05	

Fuente: (LÓPEZ, 1976)

2.4 Matrices

Las matrices son las herramientas que permiten que la materia prima sea transformada por medio de diversas acciones mecánicas. La matriz consta de uno o varios pasos dependiendo de las características propias de la pieza final que se necesita producir en la industria.

A criterio del diseñador, estos pasos se pueden considerar dentro de una misma herramienta o pueden ser separados en distintas matrices. Dentro de los procesos más conocidos se pueden considerar: corte, sellado, termo formado, repujado, embutido, aglomerado, soplado, inyectado, doblado entre muchos que se encuadran dentro de la categoría de matrices de corte exacto, conocidas también como matrices de alta precisión. (BOLJANOVIC, 2005)

La matriz se considera la parte más importante de todo el troquel, ya que es la que contiene todas las cavidades para recibir al punzón y de esta forma generar el corte, de igual manera

contiene las perforaciones para sujetarla firmemente al porta matriz así como aquellas para introducir pernos guía y mantener la posición adecuada, para garantizar el perfecto agarre y perpendicularidad se consideran cuatro factores que influyen en el diseño de la matriz para cualquier tipo de troquel.

Estos son:

- Tamaño de la pieza a fabricar
- Espesor de la pieza
- Complejidad del contorno de la pieza
- Tipo de troquel

Las matrices pequeñas, aquellas que se usan para negocios o talleres, usualmente están formadas por un bloque sólido. Solo para aquellas geometrías complicadas o detalladas la matriz se secciona para facilitar el maquinado, el tratamiento térmico y el rectificado de las piezas.

Las matrices de grandes dimensiones están hechas en secciones debido a su tamaño estas se les considera especiales por su tamaño es complicado mecanizar en una sola parte es necesario elaborarlas en tramos.

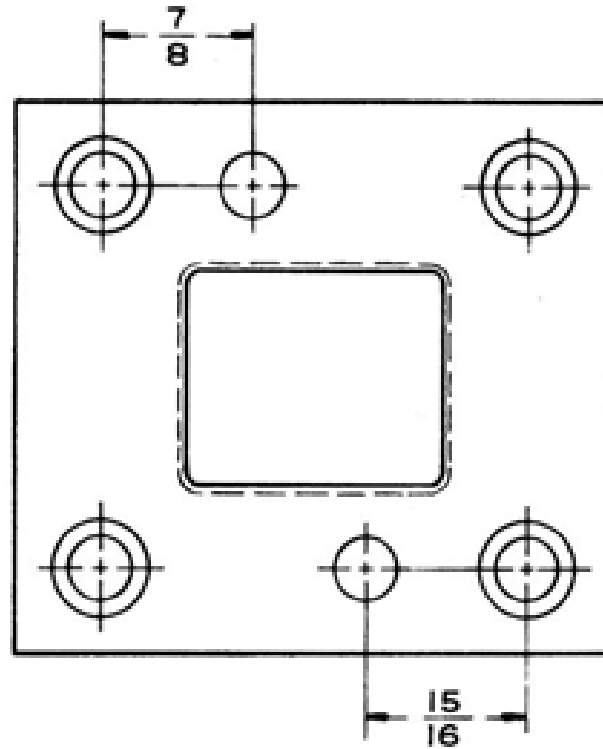
2.4.1 *Recomendaciones.*

2.4.1.1 *Prueba de errores.* Las matrices con aperturas simétricas pueden ser ensambladas incorrectamente después de una reparación. Esto puede ocasionar defectos en los bordes cortados debido a la orientación incorrecta de punzón y matriz generando fallas en el ensamble deteriorando las paredes del troquel y principalmente los filos de corte.

Cuando se dimensiona, se debe colocar uno de los pernos de registro a diferente distancia que el otro o también aplicando el ajuste con el método de hélice, tomando como referencia el orificio de tornillo más cercano al centro e ir realizando el ajuste de forma sucesiva con esto se garantiza un perfecto ensamble de las partes de la matriz asegurando el correcto funcionamiento y larga vida útil de la matriz.

En las figuras se observa los orificios de agarre de la matriz y los oricios de las guías de la misma.

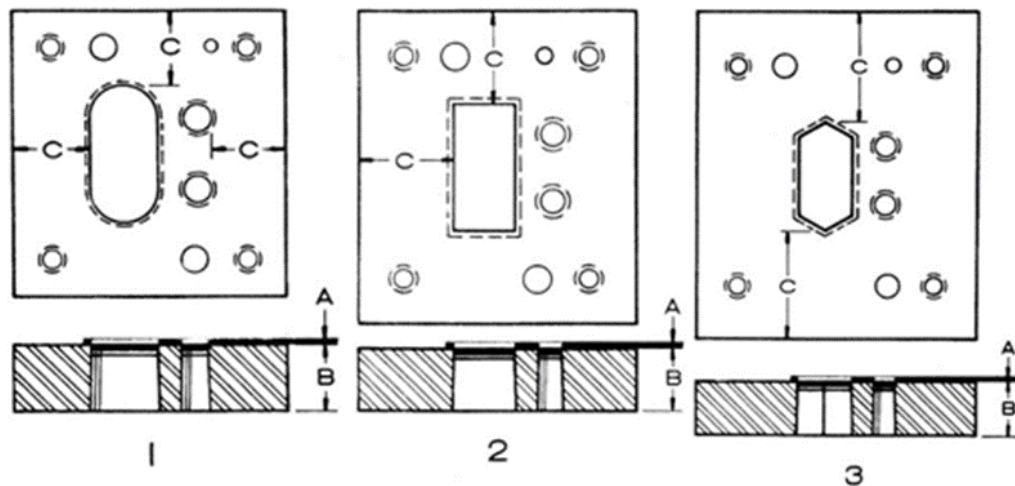
Figura 19. Posicionamiento de orificios de pernos de registro a prueba de errores



Fuente: (BOLJANOVIC, 2005)

2.4.1.2 Proporción de la matriz. La Figura 20 muestra la mínima distancia C recomendada desde la cavidad de la geometría hacia el borde exterior del bloque de la matriz.

Figura 20. Mínima distancia C recomendada



Fuente: (BOLJANOVIC, 2005)

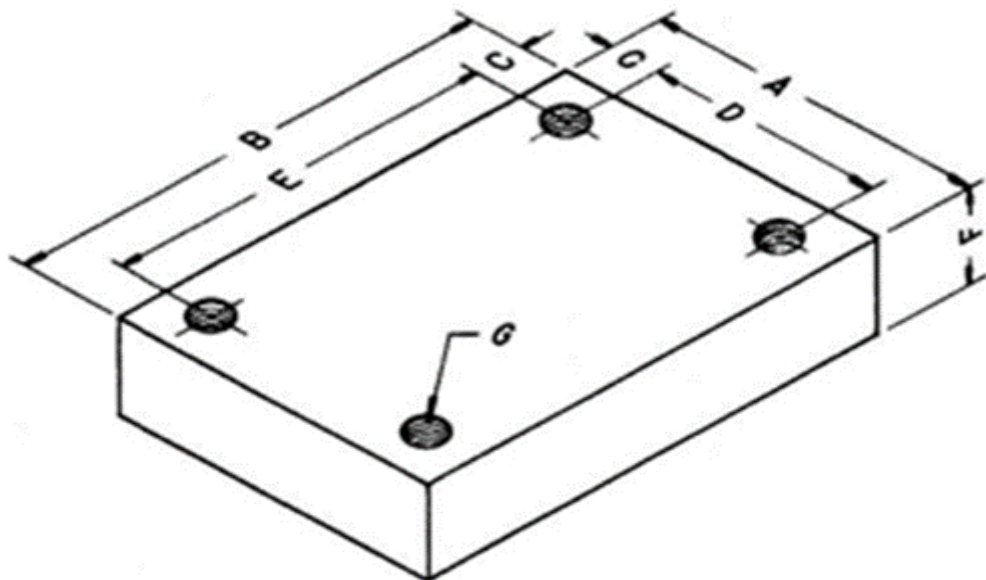
Tabla 4. Mínima distancia C recomendada

A Espesor de la tira [pulgadas]	B Altura de matriz [pulgadas]	C Mínima distancia de la cavidad de la matriz al borde exterior [pulgadas]		
		1	2	3
		Contorno redondeado	Esquinas interiores	Esquinas interiores agudas
		[1 1/8 B]	[1 1/2 B]	[2 B]
0 - 1/16	15/16	10.547	14.062	1.875
1/16 - 1/8	1 1/8	12.656	16.875	2.250
1/8 - 3/16	1 3/8	15.469	20.625	2.750
3/16 - 1/4	1 5/8	18.281	24.375	3.250
Más de 1/4	1 7/8	21.094	28.125	3.750

Fuente: (BOLJANOVIC, 2005)

2.4.1.3 Estandarización. Cuando grandes cantidades de matrices son construidas, se puede ahorrar tiempo y dinero si se estandariza el tamaño de bloques. Estos bloques estándar pueden ser maquinados en periodos más cortos dependiendo del grado de complejidad. En el dibujo del plano de fabricación, la matriz se puede especificar por número de parte, reduciendo el tiempo requerido para dimensionar. La Figura 21 muestra los tamaños más comúnmente usados para matrices pequeñas de aquí la correcta selección de los tamaños para la matriz de llaveros. (BOLJANOVIC, 2005)

Figura 21. Tamaños sugeridos de matrices estandarizadas.



Fuente: (BOLJANOVIC, 2005)

Tabla 5. Tamaños sugeridos de matrices estandarizadas

Unidades en pulgadas						
A	B	C	D	E	F	G
3	3 1/2	3/8	1 3/4	2 1/4	15/16	(.272) taladrar, 5/16-24 cuerda
3	5	5/8	1 3/4	3 3/4	15/16	(.272) taladrar, 5/16-24 cuerda
4	4	5/8	2 3/4	2 3/4	15/16	(.272) taladrar, 5/16-24 cuerda
4	5	5/8	2 3/4	3 3/4	15/16	(.272) taladrar, 5/16-24 cuerda
4	6	5/8	2 3/4	4 3/4	15/16	(.332) taladrar, 3/8-24 cuerda
5	5	3/4	3 1/2	3 1/2	15/16	(.332) taladrar, 3/8-24 cuerda
5	6	3/4	3 1/2	4 1/2	15/16	(.332) taladrar, 3/8-24 cuerda

Fuente: (BOLJANOVIC, 2005)

2.4.2 Clasificación - Matriz de Corte. En el campo de la matricaria por troquelado se puede encontrar que, las Matrices de corte se pueden clasificar según su forma y su manera de trabajar:

A continuación se realiza una breve descripción de las principales características de cada una de las clases de matrices de corte según su forma:

- Descubierta.- Herramienta poco costosa, de fácil fabricación y requiere de una prensa que tenga buena precisión de la guía del cabezal.
- Cubierta.- Posee una placa que guía al punzón, es más cara que la descubierta y el operador no ve la pieza cuando trabaja.
- Con columnas.- Guiado preciso del punzón, larga vida útil de la herramienta y costo más elevado que la cubierta.
- Con guía cilíndrica.- Guiado de los punzones y matrices muy preciso, ocupa mayor altura y su precio es elevado
- A continuación se realiza una breve descripción de las principales características de cada una de las clases de matrices de corte según su forma:

- Corte Sencillo.- Bajo costo de fabricación, permite recortado de discos y piezas sencillas, puede contener a varios punzones, se puede hacer punzonado redondo, de forma, entallado, perforado incompleto y canteado. Se puede utilizar con: Herramientas descubiertas, cubiertas y con columnas.
- Corte Progresivo.- Costo razonable de fabricación, es la combinación de varias herramientas sencillas, trabaja por medio de avances y forma la pieza por etapas. Se puede utilizar con: Herramienta Cubierta o con columnas.
- Corte Total.- Costo elevado, permite en un solo golpe de prensa se realiza punzando y recortado de la pieza, piezas muy precisas. Se puede utilizar en: Herramientas con columnas o con guía cilíndrica. (AVILES, 2004).

2.4.3 *Tolerancia de corte de la matriz.* La tolerancia de corte adecuada es aquella que hace coincidir las fracturas de corte generadas por el punzón y por la matriz. Si utilizamos una matriz con tolerancia demasiado ajustada se crearán dos fracturas que no se encontrarán. (MILLAN, 2006)

Inconvenientes de una tolerancia demasiado ajustada:

- Al ser la tolerancia menor implicará que sea necesaria mayor fuerza para cortar.
- El utillaje puede sufrir un mayor desgaste por el hecho de necesitar más fuerza en la operación de corte.
- Podría llegar a crear más rebabas por laminación.
- Es necesaria mayor fuerza de extracción.
- Por otro lado, si utilizamos una tolerancia demasiado grande se generará una curvatura mayor alrededor del agujero y las rebabas serán mayores.

2.4.4 *Calculo de la tolerancia de corte.* La tolerancia de corte adecuada de una matriz varía con el espesor y con el tipo de material. Los valores de la tolerancia pueden variar desde un 15% a un 25% del espesor de material en función del espesor y tipo de

material. Como regla general se podría aplicar como tolerancia de corte un 15% para el aluminio, un 20% para el acero y un 20-25% para el inoxidable. (MILLAN, 2006)

Beneficios de utilizar una tolerancia de corte adecuada:

- Menor rebaba y curvatura en los agujeros.
- Agujeros más uniformes y cortes más limpios.
- Piezas punzonadas más planas, con menos deformaciones.
- Mayor precisión entre agujeros.
- Mayor vida del utillaje (punzón y matriz).
- Mejor extracción del punzón.
- Menor adhesión del material punzonado en las paredes del punzón.

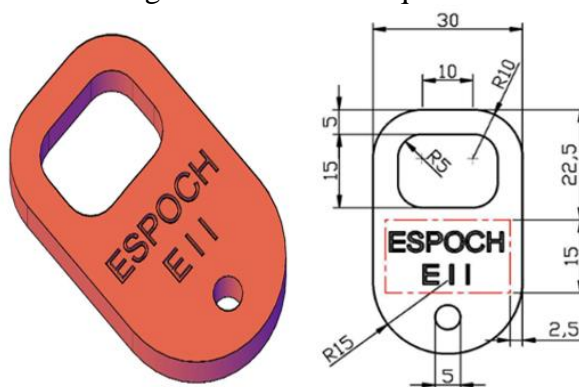
CAPÍTULO III

3 DISEÑO Y MODELACION DE LA MATRIZ DE CORTE EN LA PRODUCCION DE LLAVEROS CON EL LOGOTIPO DE LA ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

3.1 Diseño de la pieza a troquelar

El primer paso en el diseño de cualquier troquel es hacer un estudio cuidadoso de la pieza a producir, ya que esta proveerá la información necesaria para diseñar los componentes del troquel y los procesos de manufactura que se utilizarán.

Figura 22. Pieza a troquelar



Fuente: Autores

Para la selección de la geometría se llevaron a cabo varios criterios, el primero fue darle utilidad a la pieza, el realizar una geometría simple por ejemplo un disco, es sencillo manufacturar los componentes del troquel, de igual manera se podría observar el proceso de corte, obteniendo discos que no serían de mucha utilidad y que probablemente después se desechen. Resultaría mejor que el alumno realice su práctica, entienda el proceso, analice lo que sucede y al final se lleve la pieza fabricada, la cual podrá colgar en sus llaves, usarla como destapador o simplemente de adorno, dándole una mayor realce y de alguna manera un buen incentivo para la persona que realice la práctica motivando el aprendizaje. La propuesta es un simple llavero destapador con la abreviatura de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, adicionalmente de la misma manera la abreviatura de la escuela de Ingeniería Industrial perteneciente a una de las facultades de dicha entidad.

En ingeniería la mayoría de las personas conciben una pasión por los autos, motores y aviones, por tanto para el diseño de los destapadores se decidió elegir la geometría semi-circular.

Es una geometría complicada realizada con las máquinas de la facultad de mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, demostrando que no existen limitantes para concluir algún proyecto.

En el último paso se realizó el diseño del troquel con la ayuda del programa NX 10 (Siemens) el cual cuenta con el módulo CAD/CAM. Es un software que actualmente la facultad de mecánica cuenta con la licencia para su libre uso estudiantil. De ahí se eligió trabajar con este software porque sus complementos permiten desarrollar un amplio campo en el diseño y la manufactura, otra de las ventajas del software permite realizar simulación del proceso de manufactura indicando las posibles fallas al momento de fabricar las piezas.

3.2 Formas de distribuir las piezas

Los factores que determinan las dimensiones de una matriz y la posición de la abertura en la matriz propiamente dicha, son la forma y el tamaño de la pieza. Ésta se presenta en forma irregular, pudiendo distribuirla en forma transversal, longitudinal o inclinada; evitando el desperdicio exagerado de material. Por lo tanto, es conveniente estudiar la mejor disposición, de modo que permita a todos los lados de la figura encontrar el mínimo desperdicio.

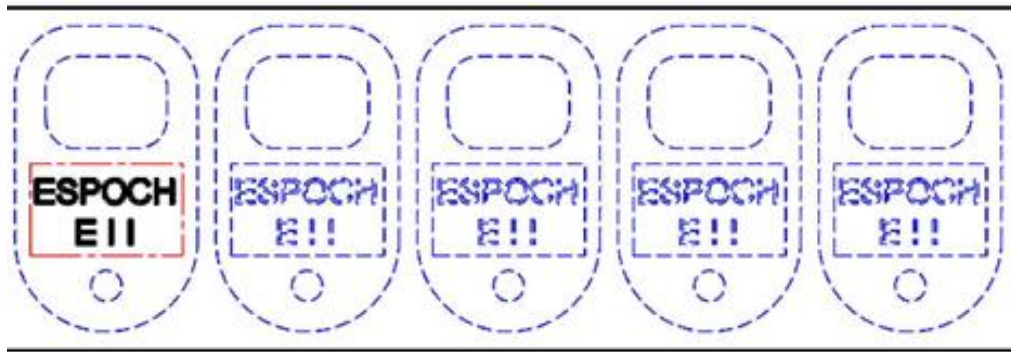
3.3 Selección de la configuración de las piezas sobre la tira

3.3.1 *La tira de corte.* En la Guía de Estudio de la Cátedra de Matricaria Aplicada, la tira de corte se determina tomando en cuenta los siguientes aspectos con el objetivo de reducir desperdicios:

- | | |
|--------------------------|----------------------|
| 1. Tira de corte T_c | 5. Intervalo S |
| 2. Tira de desecho T_d | 6. Paso P |
| 3. Pieza recortada P_z | 7. Paso inicial P' |
| 4. Puente S' | 8. Avance A |

3.3.1.1 Tira de corte T_c . La tira que se ha de recortar es una cinta de metal o de otro material que para a través de la prensa a fin de producir piezas por matrizado y estampación. Se diseña, luego de haber realizado o los planos de la o las piezas a obtener, para establecer las vistas de la matriz. Para que sea satisfactorio el diseño de la tira de corte debe hacerse siguiendo un procedimiento definido que garantice el mínimo desperdicio. Generalmente del 50 al 70% del coste de un troquelado corresponde al material. Por consiguiente el método empleado para proyectar la tira de recorte influye directamente en el éxito o fracaso financiero de cualquier operación de prensa. La pieza debe ser colocada de modo que sea utilizada el área máxima en la producción del matrizado. Ésta disposición de la pieza determina el diseño de la matriz.

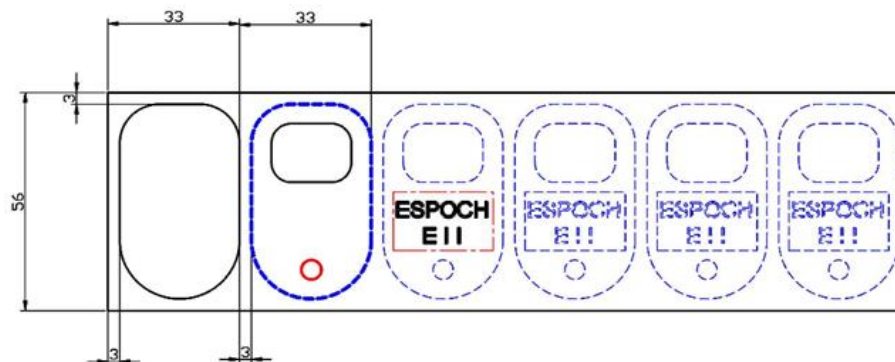
Figura 23. La tira de corte



Fuente: Autores

3.3.1.2 Tira de desecho T_d . Para la determinación de las dimensiones de la tira para el posicionamiento de la pieza en la lámina es necesario considerar las diferentes orientaciones posibles.

Figura 24. Tira de desecho T_d



Fuente: Autores

3.3.1.3 Pieza recortada P_z . La pieza recortada es aquella que se aprovecha en el proceso de matrizado. Esta pieza debe ser muy bien distribuida en la tira de recorte para minimizar al máximo el desperdicio del material y lógicamente pérdidas económicas. Ver: Figura No. 23. Pieza a troquelar.

3.3.1.4 Puente S' . Es la separación entre una arista de la pieza y el borde del fleje o tira, esto depende de la forma de la pieza y la distribución de la misma en la tira, existiendo 2 variantes:

Cuando la arista de la pieza es paralela al borde del fleje o cuando se trabaja en materiales dúctiles el puente S' se determina por $S' = 1.5e$

Cuando la parte más próxima entre el extremo de la pieza y el borde del fleje es un punto o un corte pequeño, el puente S' se determina por $S' = e$.

$$S' = 1,5x e$$

$$S' = 1,5 (2 \text{ mm})$$

$$S' = 3 \text{ mm}$$

Nota: El valor mínimo del puente debe ser de 1 mm aun cuando el espesor de la tira de corte sea menor a 1 mm; o sea cuando: $e < 1 \text{ mm}$; $S' = 1 \text{ mm}$

3.3.1.5 Intervalo S . La distancia que existe entre pieza y pieza al realizar cortes sucesivos, por lo general $S=e$ con un valor mínimo de 1 mm, cuando $e < 1 \text{ mm}$ $S = 1 \text{ mm}$

Para mayor precisión puede tomarse en cuenta la siguiente fórmula:

$$s = \frac{5e + 9}{12}$$

$$s = 3 \text{ mm}$$

3.3.1.6 Paso P . Es la distancia que existe entre 2 puntos homogéneos de 2 piezas consecutivas. Es la distancia máxima de la pieza en sentido axial de la tira más el intervalo S . para evitar desperdicios de materia prima en el proceso de troquelado. Expresado en fórmula tenemos: $P = L + S$

$$P = L + S$$

$$P = 30 \text{ mm} + 3 \text{ mm}$$

$$P = 33 \text{ mm}$$

3.3.1.7 Paso inicial P' . Es la distancia que existe entre la arista inicial de la tira de corte y la arista final de la pieza. Se determina de la siguiente manera: $P' = S' + L$

$$P' = 3 \text{ mm} + 30 \text{ mm}$$

$$P' = 33 \text{ mm}$$

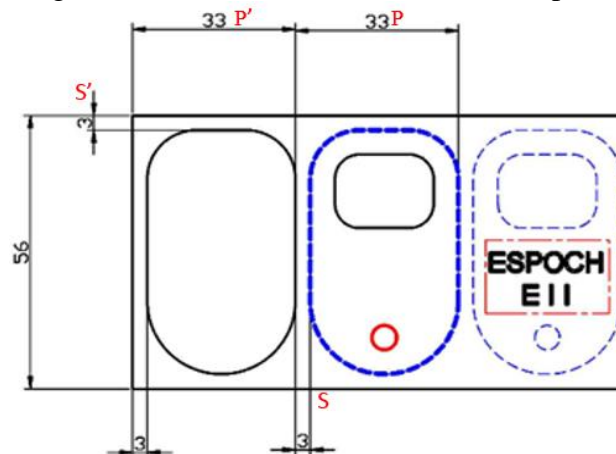
3.3.1.8 Avance A . Es el valor que debe conservar la tira bajo los punzones con el propósito de que en cada golpe resulte un corte completo.

$$A = \# \text{piezas} \times P$$

$$A = 1 \times 33 \text{ mm}$$

$$A = 33 \text{ mm}$$

Figura 25. La tira de corte tomando en aspectos



Fuente: Autores

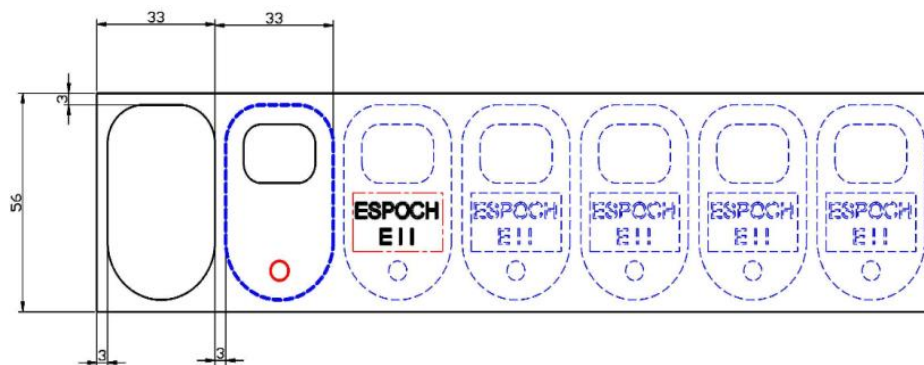
3.3.2 Formas de distribuir las piezas. Los factores que determinan las dimensiones de una matriz y la posición de la abertura en la matriz propiamente dicha, son la forma y el tamaño de la pieza. Ésta se presenta en forma irregular, pudiendo distribuirla en forma transversal, longitudinal o inclinada; evitando el desperdicio exagerado de material. Por lo tanto, es conveniente estudiar la mejor disposición, de modo que permita a todos los lados de la figura encontrar el mínimo desperdicio con el objetivo de optimizar la materia prima.

Para nuestro caso se realizó la modelación de una forma recta de una sola fila. La alimentación de la lámina se hará de manera manual, de derecha a izquierda, por lo se considera el proceso a realizar así como el tipo de troquel, en este caso es un proceso de corte con un troquel progresivo, está compuesto de dos estaciones para obtener la pieza final.

Debido al espacio y al tipo de troquel se eligió la configuración de la figura 26, también es la mejor posición para la alimentación manual como se observa en la figura se tiene una forma ordenada.

Con esta forma se puede trabajar con material de considerable longitud logrando una producción en serie y con el menor desperdicio.

Figura 26. Posicionamiento de la geometría en la lámina



Fuente: Autores

3.4 Cálculo de cargas para el proceso

3.4.1 Fuerza de corte. En la Guía de Estudio de la Cátedra de Matricaria Aplicada, para troquelar la pieza, se debe conocer la fuerza de corte necesaria para llevar a cabo el proceso, porque esta determina el tamaño o tonelaje de la prensa requerida. La fuerza de corte en el trabajo de láminas está dada por la ecuación general:

$$F_c = \tau \cdot p \cdot e$$

Donde:

F_c = fuerza de corte en kg fuerza

τ = resistencia del material a la cizalladura (Kgf/ mm²)

P = Longitud del perímetro de corte en mm

E = Espesor de la chapa a cortar en mm

La pieza consta de dos bordes o perfiles de corte, de tal manera se divide el cálculo en partes, además se realiza para dos materiales distintos, acero 1018 y acero inoxidable 304 de 1,52 mm en caso de utilizar cualquiera, conocer la fuerza requerida para cada uno de los posibles materiales que se puede elaborar la matriz de troqueles con el objetivo de tener una matriz que soporte grandes cargas y tiempo de vida útil prolongado de aquí la importancia para la selección:

PARTE 1: Fuerza necesaria para troquelar el perfil de la geometría (Azul Figura No. 26)

PARTE 2: Fuerza necesaria para perforar el agujero (Rojo figura No. 26)

PARTE 3: Fuerza necesaria para perforar el perfil (Negro figura No. 26)

Material Acero 1018

Espesor = e = calibre 16 = 1,52 mm

Resistencia al corte = τ = 441 MPa

$$\tau = 441 \text{ [MPa]} = 44,969 \text{ 484 992 3 [kgf/mm}^2\text{]}$$

Geometría:

p = Longitud del perímetro de corte en mm (azul) = $L_1 = 154,7 \text{ mm}$

$$F_1 = (44,969 \text{ kgf/mm}^2) (154,7 \text{ mm}) (1,52 \text{ mm})$$

$$F_1 = 10\,574,19 \text{ kgf}$$

$$1 \text{ kgf} = 1 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_1 = 103\,732,80 \text{ N}$$

$$F_1 = 10,57 \text{ Ton}$$

Para la parte 2 se tiene:

Material Acero 1018

Geometría:

p = Longitud del perímetro de corte en mm (rojo) = 31,41 mm (perímetro de la circunferencia de radio 5 mm)

Sustituyendo los datos en la ecuación se tiene:

$$F_2 = (44,969 \text{ kgf/mm}^2) (31,41 \text{ mm}) (1,52 \text{ mm})$$

$$F_2 = 2146,96 \text{ kgf}$$

$$1 \text{ kgf} = 1 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_2 = 21\,061,72 \text{ N}$$

$$F_2 = 2,15 \text{ Ton}$$

Para la parte 3 se tiene:

Material Acero 1018

Geometría:

p = Longitud del perímetro de corte en mm (Negro) = 61,41 mm (destapador)

Sustituyendo los datos en la ecuación se tiene:

$$F_3 = (44,969 \text{ kgf/mm}^2) (61,41 \text{ mm}) (1,52 \text{ mm})$$

$$F_3 = 4197,55 \text{ kgf}$$

$$1 \text{ kgf} = 1 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_3 = 41\,136 \text{ N}$$

$$F_3 = 4,20 \text{ Ton}$$

Por lo tanto la fuerza total necesaria es:

$$F_T = F_1 + F_2 + F_3$$

$$F_T = 10\,574,19 \text{ kgf} + 2146,96 \text{ kgf} + 4197,55 \text{ kgf}$$

$$F_T = 16\,918,70 \text{ kgf}$$

$$F_T = 10,57 \text{ Ton} + 2,15 \text{ Ton} + 4,20 \text{ Ton}$$

$$F_T = 18,92 \text{ Ton}$$

Acero inoxidable 304

Para la parte 1 se tiene:

$$\text{Espesor} = e = \text{calibre } 16 = 1,52 \text{ mm}$$

$$\text{Resistencia al corte} = \tau = 549 \text{ MPa}$$

$$\tau = 549 \text{ [MPa]} = 55,982 \text{ [kgf/mm}^2\text{]}$$

Geometría:

$$p = \text{Longitud del perímetro de corte en mm (azul)} = 154,7 \text{ mm}$$

Sustituyendo los datos en la ecuación se tiene:

$$F_1 = (55,982 \text{ kgf/mm}^2) (154,7 \text{ mm}) (1,52 \text{ mm})$$

$$F_1 = 13\,163,83 \text{ kgf}$$

$$1 \text{ kgf} = 1 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_1 = 129\,137,19 \text{ N}$$

$$F_1 = 13,16 \text{ Ton}$$

Para la parte 2 se tiene:

Donde:

Acero inoxidable 304

Geometría:

$p = \text{Longitud del perímetro de corte en mm (rojo)} = 31,41 \text{ mm}$ (perímetro de la circunferencia de radio 5 mm) estos datos corresponde a la diseño del llavero.

Sustituyendo los datos en la ecuación se tiene:

$$F_2 = (55,982 \text{ kgf/mm}^2) (31,41\text{mm}) (1,52 \text{ mm})$$

$$F_2 = 2672,75 \text{ kgf}$$

$$1\text{kgf} = 1\text{kg} * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_2 = 26\,219,77 \text{ N}$$

$$F_2 = 2,67 \text{ Ton}$$

Para la parte 3 se tiene:

Acero inoxidable 304

Geometría:

p = Longitud del perímetro de corte en mm (Negro) = 61,41 mm (destapador)

Sustituyendo los datos en la ecuación se tiene:

$$F_3 = (55,982 \text{ kgf/mm}^2) (61,41\text{mm}) (1,52 \text{ mm})$$

$$F_3 = 5225,53 \text{ kgf}$$

$$1\text{kgf} = 1\text{kg} * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_3 = 51\,210,28 \text{ N}$$

$$F_3 = 5,22 \text{ Ton}$$

Una vez calculado todas las fuerzas se obtiene una sola la fuerza total necesaria es el proceso de troquelado:

$$F_T = F_1 + F_2 + F_3$$

$$F_T = 13\,163,83 \text{ kgf} + 2672,75 \text{ kgf} + 5225,53 \text{ kgf}$$

$$F_T = 21\,062,11 \text{ kgf}$$

$$F_T = 13,16 \text{ Ton} + 2,67 \text{ Ton} + F_3 = 5,22 \text{ Ton}$$

$$F_T = 21,05 \text{ Ton}$$

3.4.2 *Fuerza de extracción.* En la Guía de Estudio de la Cátedra de Matricaria Aplicada, es la fuerza necesaria para separar el corte de la pieza que queda sujeta a los punzones. Al final de cada operación en los trabajos de corte, el punzón arrastra en la carrera de retroceso la tira en la cual ha penetrado, quedando ésta sujeta al punzón. Ésta sujeción es tanto más fuerte cuando mayor es la sección cizallada y cuando mayor sea la cantidad de material sobrante alrededor de la pieza cortada.

La fuerza de extracción del fleje se da en función de dimensión del material sobrante y en porcentaje relativo a la fuerza de corte.

Donde:

Fext. = Fuerza de extracción en Kgf.

Fc = Fuerza de corte

Acero 1018

$$F_t = 16\,918,70 \text{ kgf}$$

$$F_{\text{ext.}} = 7\%(16\,918,70)$$

$$F_{\text{ext.}} = 1184,31 \text{ kgf}$$

Acero inoxidable 304

$$F_t = 21\,062,11 \text{ kgf}$$

$$F_{\text{ext.}} = 7\%(21\,062,11 \text{ kgf})$$

$$F_{\text{ext.}} = 1474,35 \text{ kgf}$$

3.4.3 *Fuerza de expulsión.* Es la fuerza que se hace para que salga la pieza de la parte interior de la matriz. Generalmente se toma igual al 1,5 % de la fuerza de corte.

Fexp. = 1,5 % Fc en Kgf.

Acero 1018

$$F_{T1} = 16\,918,70 \text{ kgf}$$

$$F_{exp.} = 1,5\%(16\,918,70 \text{ kgf})$$

$$F_{exp.} = 253,78 \text{ kgf}$$

Acero inoxidable 304

$$F_t = 21\,062,11 \text{ kgf}$$

$$F_{exp.} = 1,5\%(15\,836,58 \text{ kgf})$$

$$F_{exp.} = 315,93 \text{ kgf}$$

3.4.4 *Selección de la prensa.* En la Guía de Estudio de la Cátedra de Matricaria Aplicada, la fuerza de corte sumada a la fuerza de expulsión se toma en cuenta para la selección de la prensa en la que se realizará la producción, la misma que debe tener una fuerza algo mayor.

$$\text{Prensa.} = F_{exp} + F_c \text{ en Kgf.}$$

Acero 1018

$$F_{T1} = 16\,918,70 \text{ kgf}$$

$$F_{exp.} = 253,78 \text{ kgf}$$

$$\text{Prensa.} = 190,82 \text{ kgf} + 16\,918,70 \text{ kgf}$$

$$\text{Prensa.} = 17\,109,32 \text{ kgf}$$

Acero inoxidable 304

$$F_T = 21\,062,11 \text{ kgf}$$

$$F_{exp.} = 315,93 \text{ kgf}$$

$$\text{Prensa.} = 315,93 \text{ kgf} + 21\,062,11 \text{ kgf}$$

$$\text{Prensa.} = 21\,378,04 \text{ kgf}$$

3.4.5 *Determinación del centro de gravedad.* En la Guía de Estudio de la Cátedra de Matricaria Aplicada, en cualquier tipo de troquel, el vástago se coloca exactamente en el centro de gravedad de todas las fuerzas que actúan sobre la parte superior de troquel. Garantiza esfuerzo innecesario, deformaciones que llevan al desequilibrio de la matriz y paros de la producción.

Para determinar el centro de gravedad por el método analítico es de la siguiente manera:

- Referir el dibujo de la matriz a dos ejes OX y OY
- Medir las distancias desde el origen a los centros de los punzones (o de las líneas simples de la pieza que es descompuesta en líneas simples.) tanto en el eje X como en el eje Y.
- Las distancias X e Y que van a determinar la posición de la espiga, se obtienen por las fórmulas:

$$\bar{X} = \frac{P_1X_1 + P_2X_2 + P_3X_3 + \dots P_nX_n}{p_1 + p_2 + p_3 + \dots p_n}$$

$$\bar{Y} = \frac{P_1Y_1 + P_2Y_2 + P_3Y_3 + \dots P_nY_n}{p_1 + p_2 + p_3 + \dots p_n}$$

Para el método analítico, se recomienda el uso de una tabla para organizar los datos referentes al cálculo de tal manera, no generar confusiones o errores que en si sea de fácil interpretación.

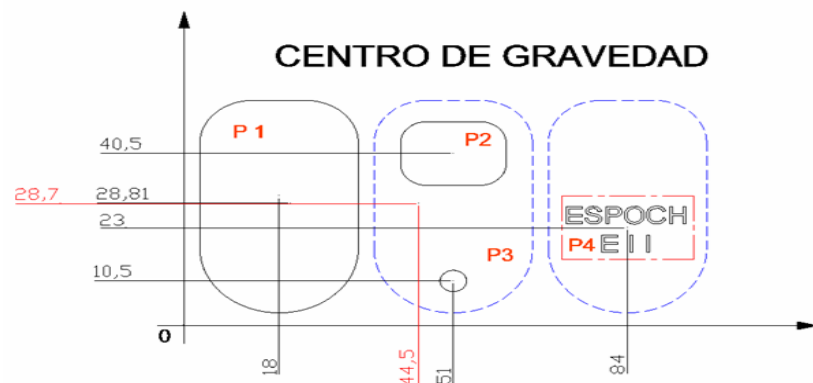
Tabla 6. Determinación del centro de gravedad

Centro de gravedad					
Nº	Perímetro	Xi	Yi	Pi.Xi	P'XYi
1	138,53	18,00	28,81	2493,54	3991,04
2	61,41	51,00	40,50	3131,91	2487,11
3	15,70	51,00	10,50	800,70	164,85
4	80,00	84,00	23,00	6720,00	1840,00
	295,64			13146,15	8483,00
			Pi.Xi/PT=	44,47	
			PiYi/PT=	28,70	

Fuente: Autores

En la tabla se especifica los centros de gravedad de cada uno de los punzones su perímetro, son de vital importancia para realizar el ensamble final de la matriz tratando que todos las fuerzas de acción este distribuidas de la mejor manera con esto garantizamos el correcto funcionamiento de todos sus elementos.

Figura 27. Determinación del centro de gravedad



Fuente: Autores

3.5 Vida útil de la matriz

Para el diseño de las piezas para la matriz por troqueles, la matriz presenta un desgaste continuo por los impactos a los que está expuesta, por lo tanto es necesario considerar la vida útil que tendrá la pieza. Se determina el espesor que presenta la matriz antes del ángulo de salida de las piezas, este espesor servirá para hacer afilados o rectificados durante la vida útil de la matriz. El valor normalmente es dos o tres veces el espesor de la lámina a cortar.

$$\text{Vida útil} = 2t \text{ ó } 3t$$

Para darle una mayor vida a la matriz se utiliza tres veces el espesor de la chapa.

$$\text{Vida útil} = 3(1,52 \text{ mm}) = 4,56 \text{ mm}$$

Figura 28. Corte transversal de la matriz mostrando la vida útil y el ángulo de escape



Fuente: (MILLAN, 2006)

En la figura 28, se muestra la vida útil de la matriz, donde se tienen 4.56 mm para poder realizar rectificados cuando la matriz presente desgaste en las orillas de corte este

rectificado se considera necesario realizar cada 10000 piezas garantizando que la producción no se detenga por efectos de la matriz.

3.5.1 *Ángulo de escape de la matriz.* El ángulo de escape se realiza inmediatamente después del espesor de la vida útil de la matriz también mostrado en la figura No. 29, (Corte transversal de la matriz mostrando la vida útil y el ángulo de escape), este ángulo permitirá que la pieza troquelada sea liberada sin quedar atrapada dentro de la matriz, si esto llega a suceder la pieza será empujada posteriormente por las siguientes piezas troqueladas, pero no es recomendable debido a que los metales al sufrir una deformación plástica presentan una recuperación, de tal manera que al tener piezas atoradas en la matriz se podrían generar fracturas de la misma debido a la presión ocasionada en las paredes por la recuperación elástica de las piezas troqueladas.

3.6 Manufactura del troquel

La manufactura de cualquier producto viene totalmente ligada al proceso de diseño, siempre es necesario considerar la forma en la cual se fabricará cierto producto, los inconvenientes que se pueden encontrar en el camino así como los tiempos de manufactura.

Para diseñar y manufacturar el troquel se hizo uso de las técnicas CAD/CAM, es una gran herramienta de soporte en todos los procesos involucrados, reduciendo los tiempos y costos en el desarrollo y fabricación, ya que cualquier posibilidad de falla cometido durante el proceso de diseño o la manufactura es identificado y corregido en un lapso de tiempo muy corto, que va de minutos a horas, en lugar de días o semanas si no se cuenta con esta herramienta.

Es conveniente realizar una breve descripción de los sistemas de cómputo que se utilizaron para el diseño y fabricación del troquel de corte: sistema CAD (ComputerAidedDesign) Diseño Asistido por Computadora, se enfoca en el uso de aplicaciones informáticas que permiten a un diseñador definir el producto a fabricar. Con un software se puede especificar y formalizar la representación de una pieza o sistema, el cual permite realizar proyecciones bidimensionales, modelados geométricos, definir propiedades de materiales así como una vista preliminar de la pieza a fabricar. De esta

manera se pueden visualizar posibles fallas o interferencias que puedan tener las piezas con otros elementos. En cuanto al sistema CAM (Computer Aided Manufacturing) Manufactura Asistida por Computadora, engloba las aplicaciones encargadas de traducir las especificaciones de diseño producto del sistema CAD, a especificaciones de manufactura, utilizando tecnologías de fabricación y el control numérico (CNC) que permite grandes ventajas.

El diseño del troquel se llevó a cabo con la ayuda del programa NX 10 (Siemens) el cual cuenta con el módulo CAD/CAM que permite el diseño y la manufactura de las piezas. Es un software que está disponible en cd a un precio accesible o es posible utilizarlo desde las instalaciones universitarias.

De esta manera se realizaron los dibujos de cada elemento, planos de detalle, ensambles, para de esta forma realizar la verificación de las dimensiones y posibles interferencias con otros elementos del troquel, en este paso se tomaron decisiones finales para manufacturar. Con el módulo CAM es posible generar los códigos de control numérico para gran cantidad de máquinas herramienta y poder manufacturar el producto diseñado, así como la simulación previa de la trayectoria y tipos de herramientas, parámetros y tiempos de maquinado.

3.6.1 *Materiales de fabricación.* La selección de los materiales es un punto muy importante que no se debe dejar al azar, de la correcta selección el, material depende el tiempo de vida útil de la matriz, de las varias clasificaciones se seleccionó el que cumplió con las características requeridas para lo cual se recomienda elaborar las matrices en acero inoxidable.

El troquel de corte está expuesto a altos impactos y esfuerzos, lo que puede ocasionar fracturas o fallas en la herramienta. Algunos factores que influyen en la selección son: la cantidad de piezas a producir, el espesor de la lámina y la complejidad de la pieza troquelada.

Los mecanismos más críticos de falla son por desgaste abrasivo y desgaste adhesivo, formación de varias grietas en la lámina y la formación de rebaba en los filos de corte del troquel la forma de detectar este tipo de fallas es observando el producto terminado.

El troquel no se utilizará para largas producciones, pero se pretende que tenga una duración apta para la enseñanza, al menos que se puedan realizar unos 10,000 golpes así como la obtención de piezas de buena calidad, que resista el desgaste y la geometría de la pieza es compleja por lo que se requiere un material apto para estas sollicitaciones con el objetivo de conseguir productos buenos.

El material AISI D2 es un acero para herramienta de elevada aleación para aplicaciones donde una buena resistencia al desgaste abrasivo es requerida. Este acero de alto contenido de carbono y con un 12% de cromo es el más utilizado para el trabajo en frío. Es tratable térmicamente y puede ofrecer un rango de dureza de 55-62 HRC. Para la fabricación de la matriz y punzón se emplea esta calidad de acero para los punzones se recomienda un acero de mayor dureza.

Tabla 7. Material

Material	Dureza [HRC]	Esfuerzo último [MPa]	Esfuerzo de Fluencia [MPa]	Módulo de elasticidad [GPa]
AISID2	60HRC	1489	1385	207
ASTMA 36	70HRB	400	250	200

Fuente: Autores

Se selecciona el material ASTM A36, ya que es el más empleado para esta aplicación por sus propiedades mecánicas. El ASTM A36 tiene una fuerza para ceder de 36.000 psi, y una capacidad de tensión de doblaje de 22.000 psi. Las propiedades del acero ASTM A36 permiten que se deforme rápidamente mientras se incrementa la tensión más allá de su fuerza para ceder. Esta conductividad permite que los edificios aguanten mucho más de los límites de una estructura en caso de emergencia, permitiendo que los habitantes salgan de forma segura antes de que se colapse. Otros aceros de alto rendimiento, como la cuerda de puente, son extremadamente fuertes pero se resquebrajan, y hay una deformación mínima antes de que se rompa violentamente.

3.7 Diseño software NX

NX, también conocido como Siemens NX o simplemente Unigraphics o U-G, es un paquete de software CAD/CAM/CAE desarrollado por la compañía Siemens PLM Software (una unidad de negocios de la división de Siemens Industry Automation).

Sus usos, entre otros, son los siguientes:

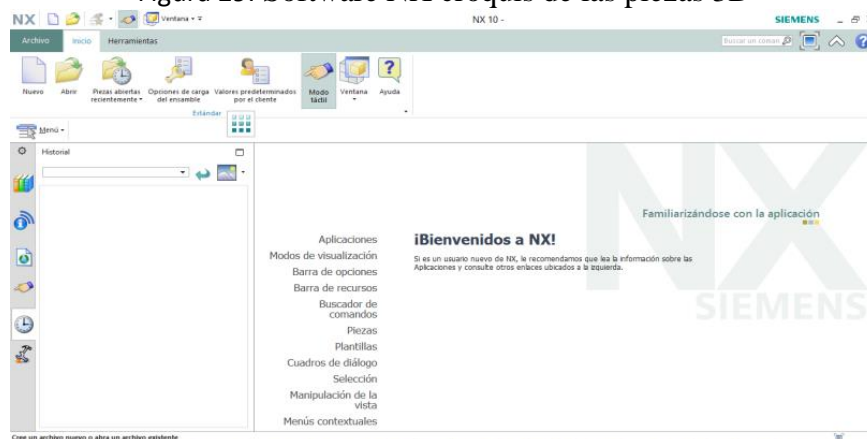
- Diseño (modelado paramétrico y directo de sólidos/superficies).
- Análisis para ingeniería.
- Manufactura digital para la industria de la maquinaria.

La última versión del software NX™ (NX 10) de Siemens incluye nuevas funcionalidades que aportan mayor flexibilidad al desarrollo de producto y permiten aumentar hasta 3 veces la productividad.

Las nuevas herramientas como la solución de desarrollo de concepto en 2D hacen más fácil y rápido crear diseños, mientras que las mejoras en el software NX RealizeShape™, un entorno totalmente integrado de modelado sub-división, dan a los diseñadores mayor flexibilidad para producir formas únicas. Además cuenta con una nueva interfaz táctil opcional que proporciona el acceso ampliado a las funcionalidades completas de diseño.

El aumento de la complejidad del producto hace que el modelado 3D sea el método preferido para el diseño de productos en todo el mundo. Sin embargo, en algunas industrias, como maquinaria y electrónica compleja, es más fácil y más rápido crear esquemas iniciales del diseño en 2D. La nueva solución de desarrollo de concepto 2D permite a los diseñadores explorar diferentes conceptos en 2D, lo que hace que el proceso de diseño sea hasta tres veces más rápido. Una vez que el diseño esté finalizado puede ser fácilmente migrado a 3D para completar el modelo. Para el diseño de las piezas para la matriz por troqueles se utilizó el software NX.

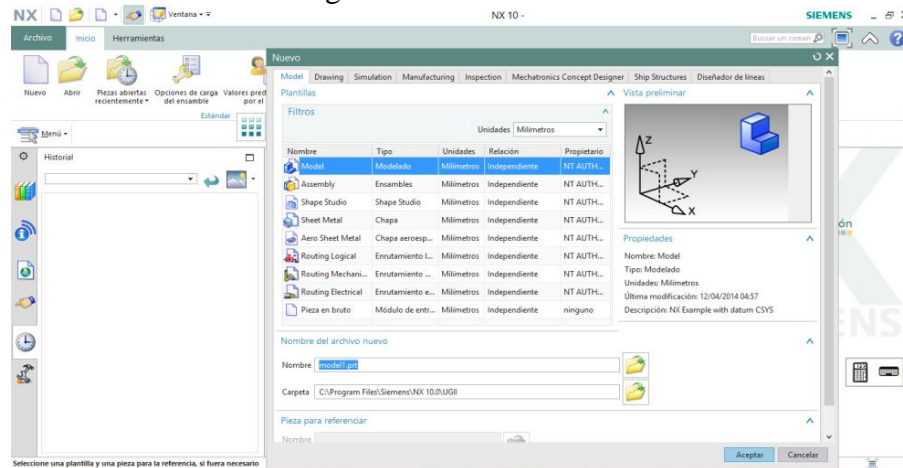
Figura 29. Software NX croquis de las piezas 3D



Fuente: Autores

Para iniciar los diseños en 2D se elige el espacio de trabajo para ellos se eligió trabajar en espacio de modelado en esta área de trabajo se procede a realizar los diseños den 2D de la matriz.

Figura 30. Diseños en 2D

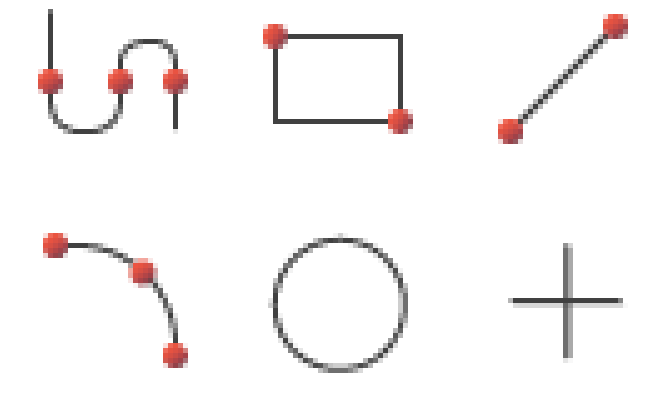


Fuente: Autores

Una vez elegido el espacio de trabajo y con la ayuda de las herramientas como:

- Línea.
- Rectángulo.
- Circulo.
- Arcos.

Figura 31. Herramientas

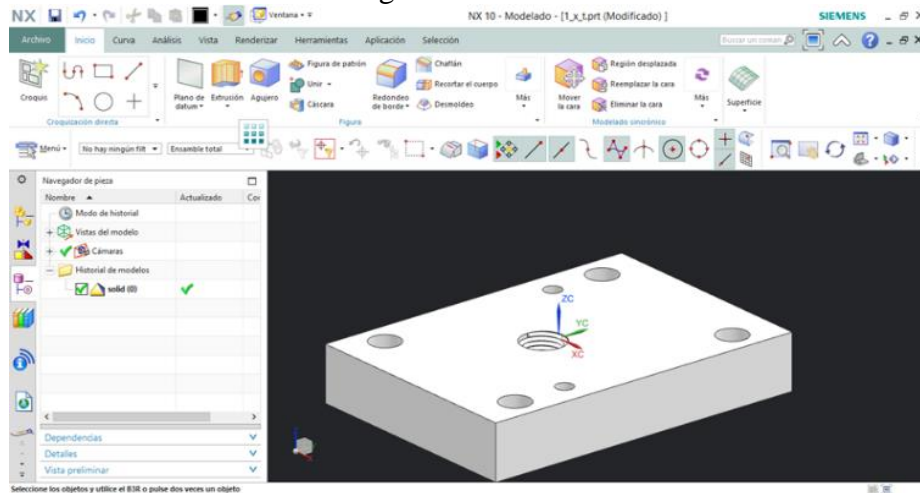


Fuente: Autores

Las nuevas funcionalidades específicas de la industria de NX 10 CAM permiten que los ingenieros programen más rápido y que las piezas mecanizadas tengan mayor calidad.

Las nuevas estrategias de desbaste dinámicamente ajustadas se adaptan de forma automática a la geometría de la pieza para permitir mejores mecanizados moldes y matrices.

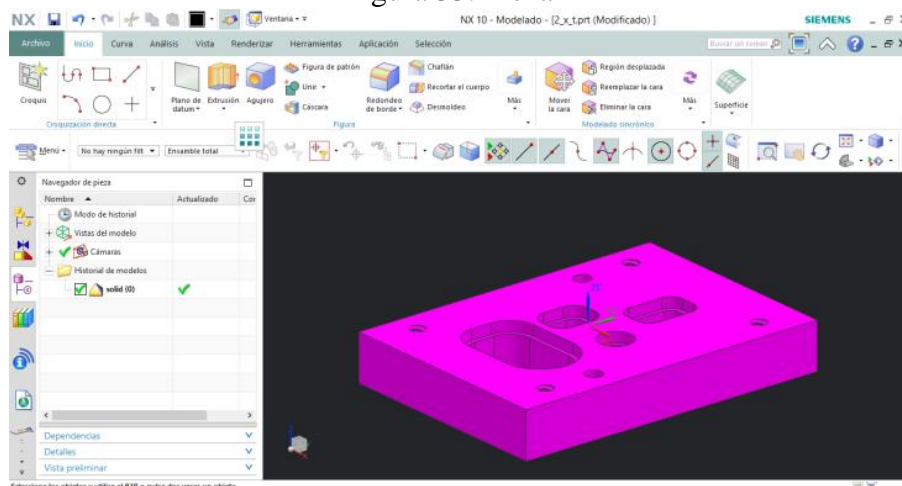
Figura 32. Pieza 1



Fuente: Autores

Se diseñó la pieza número uno se lo realizo con ayuda del Software NX 10, su función principal será la de brindar una fuerza cortante para el proceso de fabricación de llaveros, a su vez ira acoplada con el perno y la pieza numero dos la cual portara los punzones cortante y perforación.

Figura 33. Pieza 2

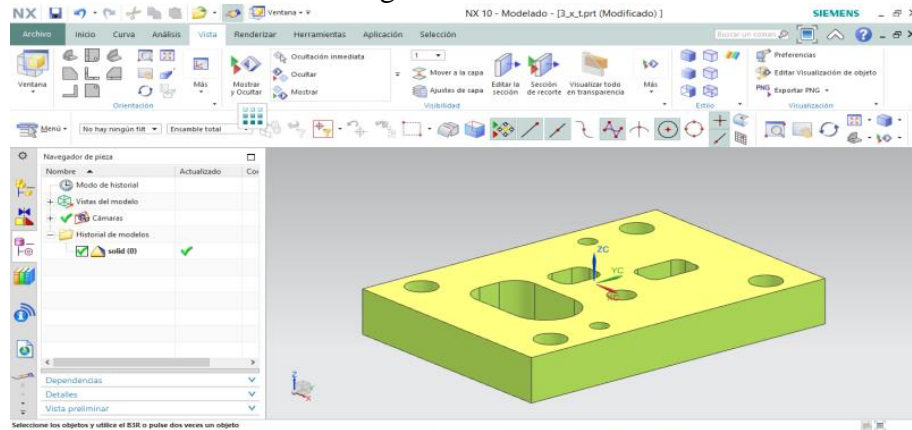


Fuente: Autores

La pieza número dos diseñada con colaboración del Software NX 10, el cual portara punzones cortantes y perforantes y a su vez brindara una fuerza cortante para el proceso

de fabricación de llaveros. En esta placa van estar ubicados todos los punzones existen canales para ubicar los punzones que tienen que tener cierto ajuste, además la placa cuenta con perforaciones de roscas M8 para unir todas las placas, es necesario considerar la elaboración de las guías del molde.

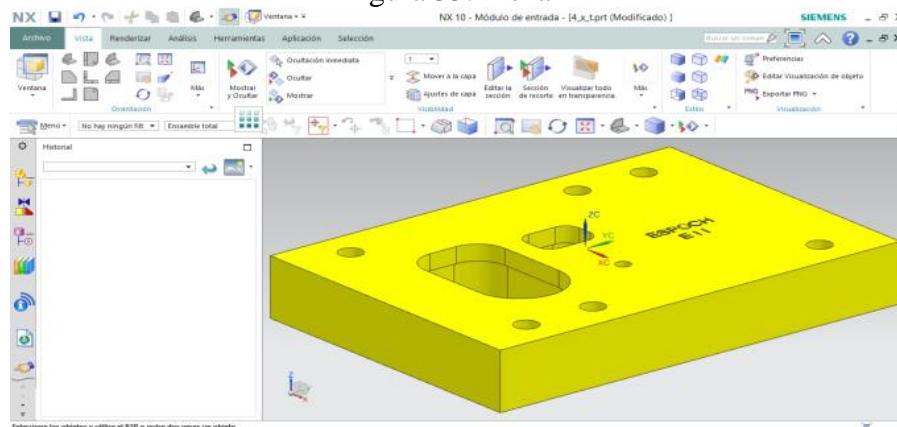
Figura 34. Pieza3



Fuente: Autores

Se diseñó la pieza número tres, su función principal será la de brindar una guía a los punzones y estará acoplada mediante pernos a la matriz de corte o pieza cuatro, su acople será separado mediante las placas 1 y 2, para que recorre con facilidad el material entre las placas debe existir una holgura de 1 mm que garantiza el deslizamiento de la lámina a ser troquelada.

Figura 35. Pieza 4



Fuente: Autores

Se diseñó la pieza número cuatro o matriz de corte se lo realizó con ayuda del Software NX 10, su función principal será la de brindar las dimensiones aproximadas para el

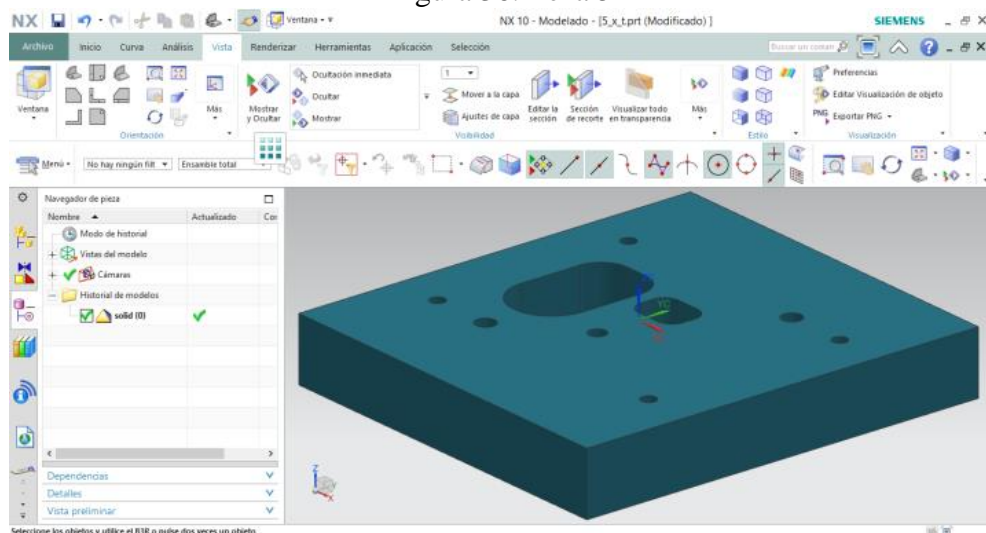
proceso de fabricación de llaveros, a su vez ira acoplada, con la pieza tres y las dos placas separadoras. La función de las placas separadoras es guiar el material a ser cortado dejando un espacio de 5 mm de holgura una vez que se realiza el primer corte el material va ser empujado pasando hasta la siguiente estación de troquelado donde se realizan las operaciones finales algo particular de esta placa es el gravado de letras para el empastado del llavero.

En el diseño de las partes de la matriz se puede observar detalles previos a la construcción una de forma de verificar el correcto funcionamiento es realizar el ensamble final del prototipo y una simulación del proceso de troquelado esta operación permite realizar el software.

A la vez se va unir con las otras placas formando la matriz de troquelado para los llavero el material escogido para el prototipo es fundición de aluminio. Se escogió este tipo material por sus buenas propiedades mecanizas además de ser un material económico y de fácil obtención por medio del proceso de fundición utilizando chatarra de aluminio como materia prima.

Es necesario que la geometría de la pieza a ser mecanizada cuente con un sobre dimensionamiento de 10 mm lo que permite realizar el agarre en la mordaza logrando de esta manera un perfecto agarre garantizando la mejor forma de mecanizar las piezas con alto grado de acabado superficial.

Figura 36.Pieza 5

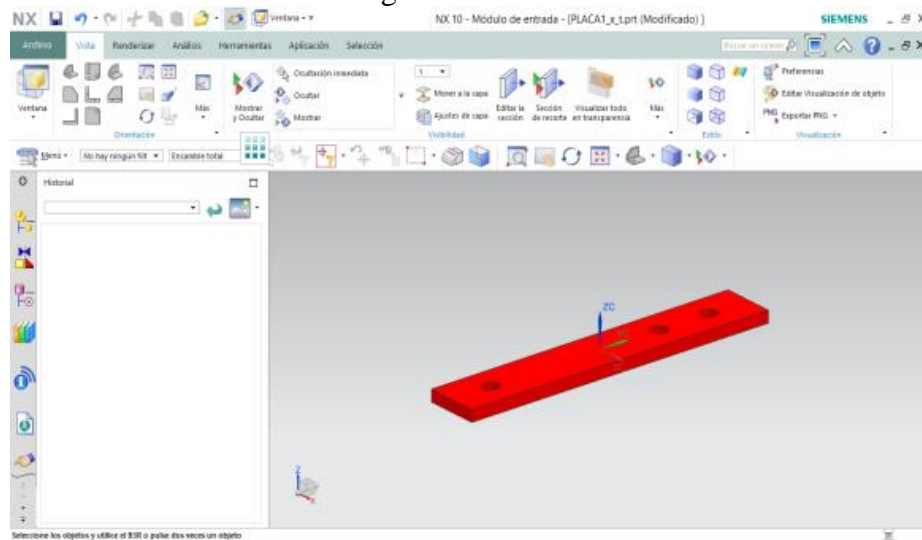


Fuente: Autores

La pieza número cinco fue diseñada con colaboración del Software NX 10, la cual servirá como base del troquel soportando los punzones cortantes y perforantes y a su vez soportara la fuerza cortante para el proceso de fabricación de llaveros.

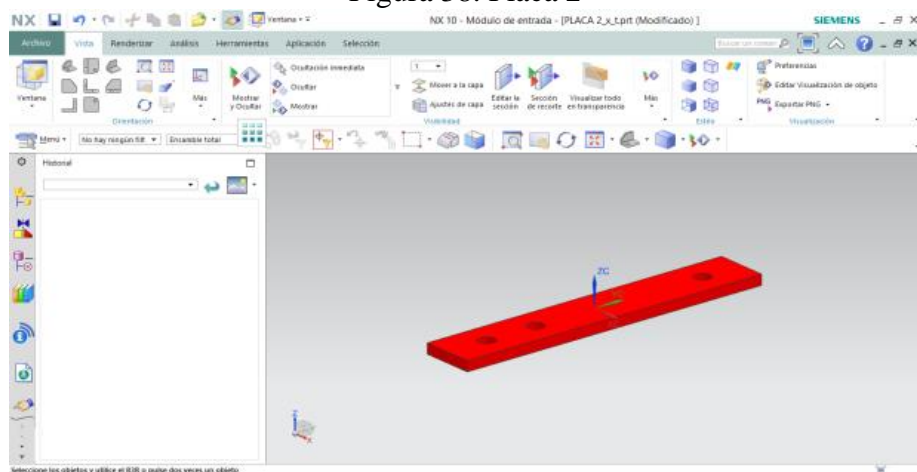
La función principal es hacer de base sobre esta placa va actuar todos las fuerzas de corte ejecutadas por la prensa, es indispensable que el espesor de la placa base sea de mayor dimensión que las otras placas y su área también debe superar por unos 20 mm por cada lado porque a placa base va estar sujeta en la prensa garantizando un correcto funcionamiento de toda la matriz y también la obtención de un producto de calidad acorde a un trabajo de precisión.

Figura 37. Placa 1



Fuente: Autores

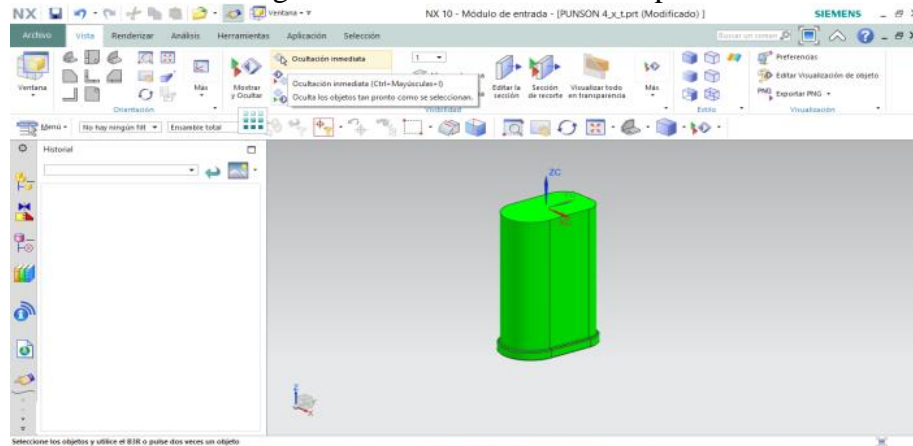
Figura 38. Placa 2



Fuente: Autores

Las placas uno y dos fueron diseñadas con colaboración del Software NX 10, la cuales servirán para separar las piezas tres, cuatro (matriz de corte), cual separación servirá para que pase el material a ser transformado, acopladas dichas piezas con pernos M8 de 2" de largo, conjuntamente con la pieza cinco.

Figura 39. Punzón de corte cuerpo



Fuente: Autores

Se diseñó punzón de corte cuerpo con ayuda del Software NX 10, su función principal cortar las dimensiones aproximadas del cuerpo del llavero.

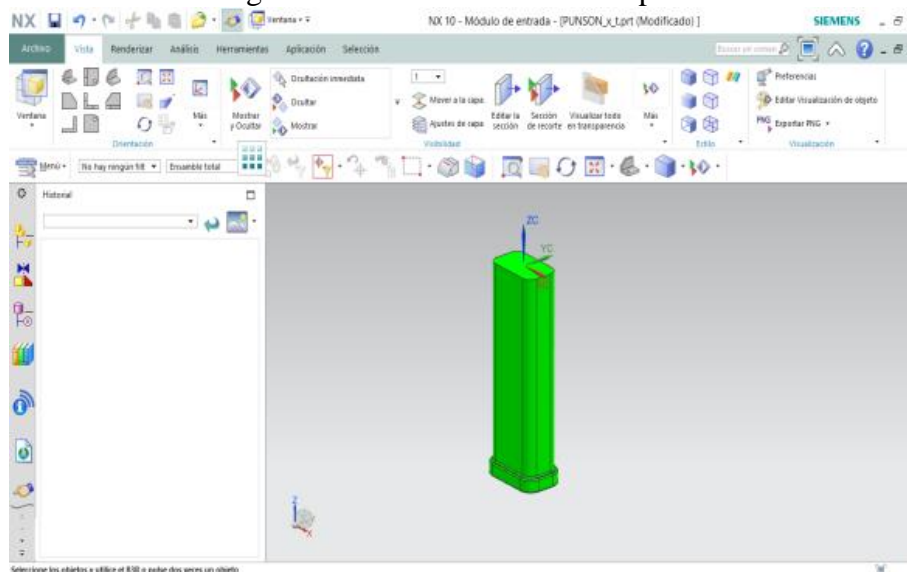
El diseño del troquel se realizó partiendo de un croquis en dos dimensiones para luego pasar al dimensionado en tres dimensiones obteniendo la figura deseada, con el diseño listo se procede a realizar los programas de manufactura que sirven para introducir en la maquina CNC.

La ventaja de diseñar en NX siemens, permite realizar la simulación del proceso de troquelado de las piezas.

Este punzón es el que realiza el primer corte dando forma al llavero una de las características principales de este punzón son sus filos de corte tiene que estar bien pronunciado para realizar un corte limpio y cuando ya ha perdido sus filos de corte se procede a realizar la primera rectificación.

El procedo de rectificación del punzón se lo realiza en el mismo centro de mecanizado del cual se le reduce hasta un mm de profundidad en la cara de corte del troquel permitiendo alargar su vida útil hasta otras 10.000 piezas.

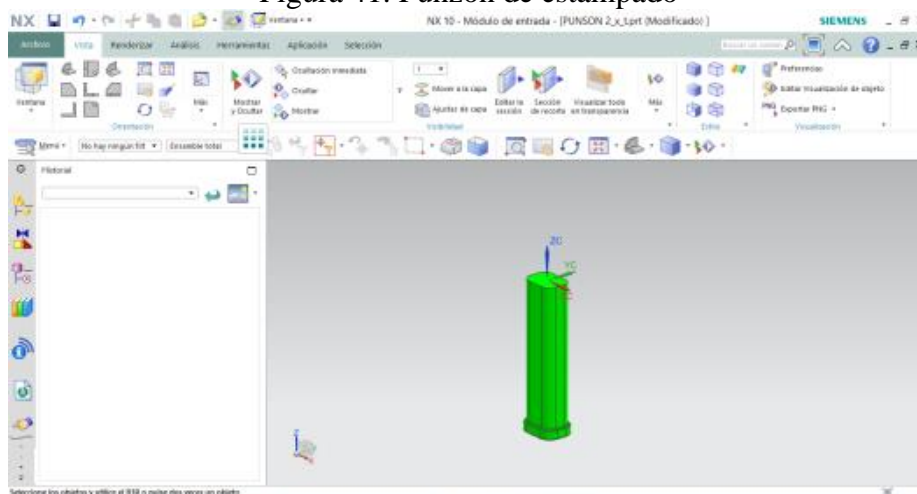
Figura 40. Punzón de corte destapador



Fuente: Autores

Se diseñó punzón de corte destapador con ayuda del Software NX 10, su función principal es la de cortar las dimensiones aproximadas del destapador en el cuerpo del llavero.

Figura 41. Punzón de estampado

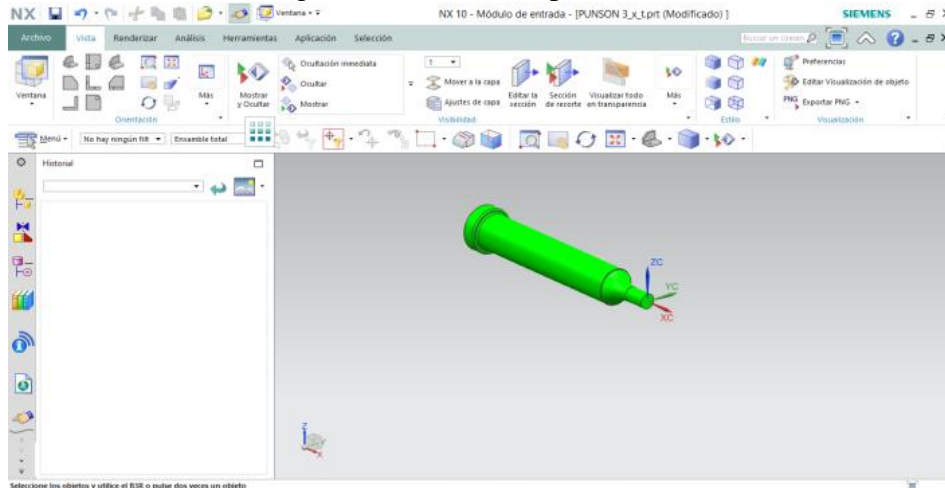


Fuente: Autores

Una vez diseñados los punzones de corte cuerpo y destapador se diseña el punzón de estampado su función principal es la de estampar lo deseado en las láminas de producción y generar un detalle.

Este punzón cuenta en su parte superior la forma del logotipo a estampar en alto relieve de 0,5 mm de altura el detalle que se encuentra en la parte superior son las iniciales de universidad, dando un valor agregado al diseño de llaveros.

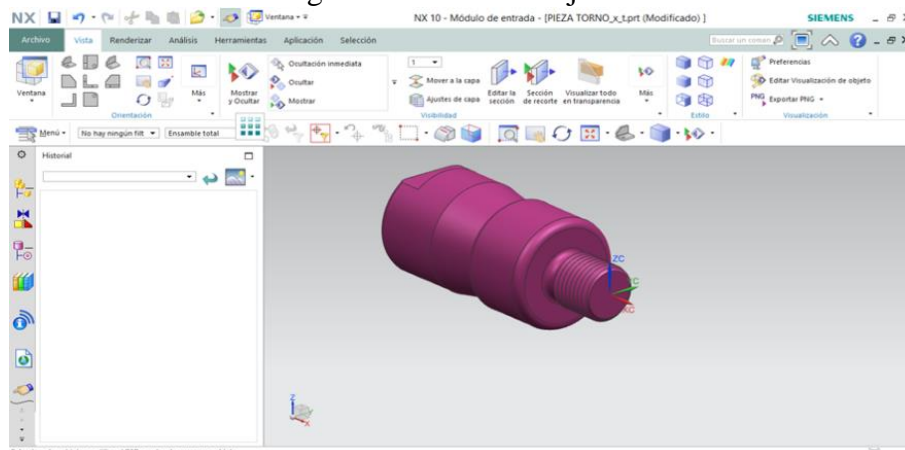
Figura 42. Punzón de perforación



Fuente: Autores

El punzón de perforación consta de un diámetro de 5mm que sirve para la perforación del llavero en este agujero se va a colocar la argolla.

Figura 43. Perno de sujeción



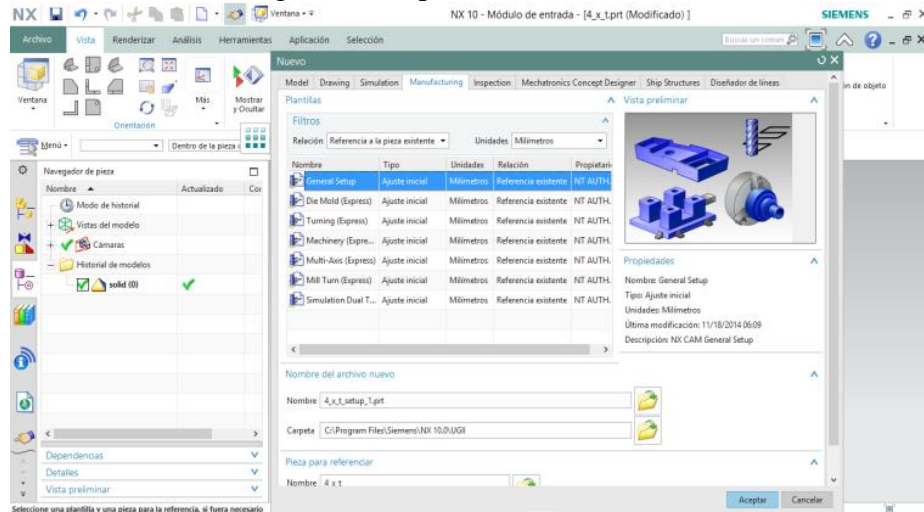
Fuente: Autores

Se diseñó el perno de sujeción y se le realizó la rosca M20 para el acople de la placa 1 esta sirve para realizar los cortes de del llavero del destapador.

3.8 Fabricación asistida por computadora software NX

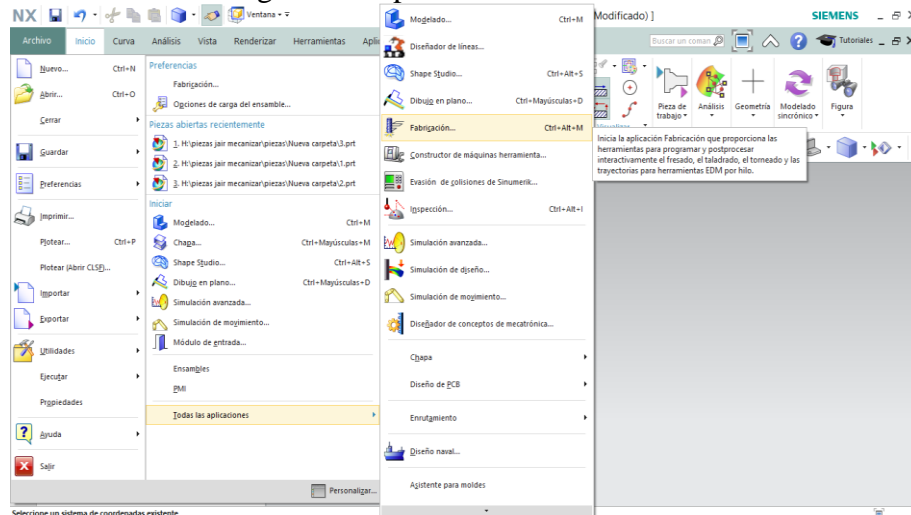
Para el proceso de mecanizado en NX se debe pasar del espacio modelado a un espacio de manufactura escogiendo. Esta paso se realiza una vez que se ha obtenido los diseños de la matriz en la ventana de fabricación se procede a realizar la programación para cada una de las piezas.

Figura 44. Espacio de manufactura



Fuente: Autores

Figura 45. Aplicación de fabricación

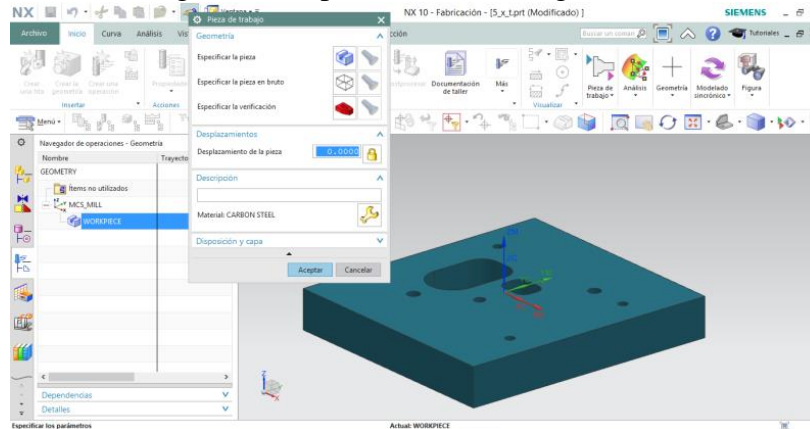


Fuente: Autores

Cuando se establece el espacio de trabajo se procede a especificar la geometría de la pieza a trabajar, para ello se recomienda que el cero de la pieza se encuentre en la mitad de la pieza.

Esta parte es de vital importancia aquí se designa la geometría de la pieza a ser mecanizada, de no existir determinada la geometría el software no reconoce ninguna operación y no permite realizar las operaciones necesarias, dentro de las geometrías que se pueden ingresar en el software van desde un simple bloque cuadrado hasta figuras cilíndricas en esta pieza se procede a determinar el cero pieza o también conocido como el primer de calaje de origen.

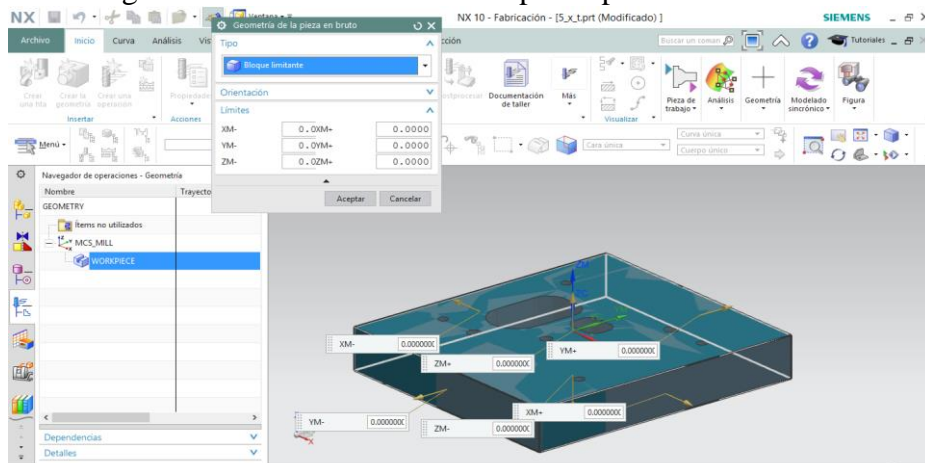
Figura 46. Especificación de la geometría



Fuente: Autores

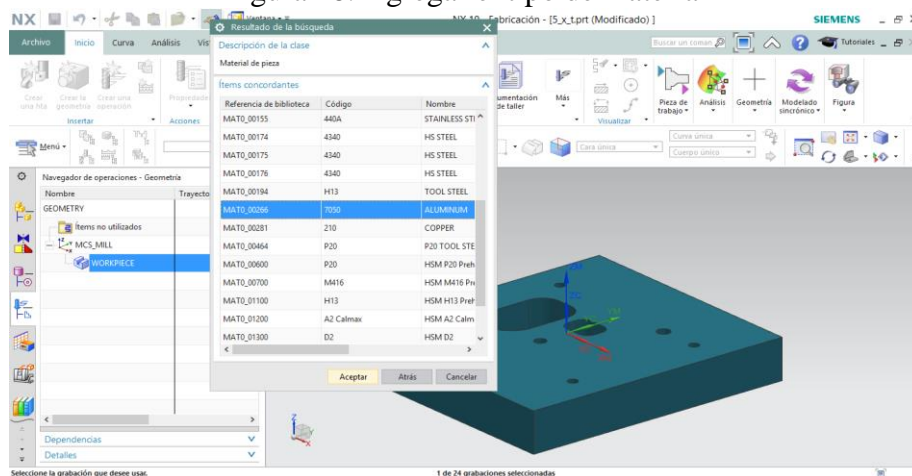
Además se adiciona la materia prima para la elaboración, dando sobredimensionamiento

Figura 47. Adición de la materia prima para la elaboración



Fuente: Autores

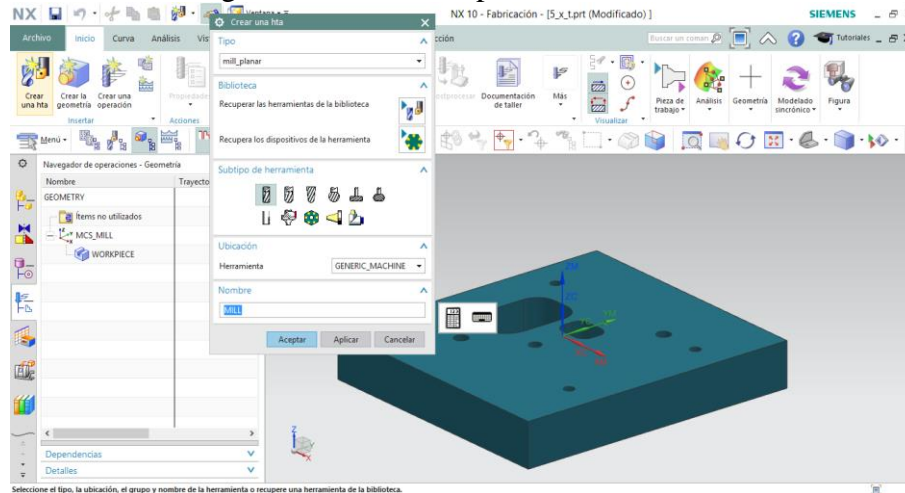
Figura 48. Agregar el tipo de material



Fuente: Autores

Una vez realizado los pasos previos al mecanizado se procede a crear los tipos de herramientas que se va a utilizar en el proceso de manufactura. Para lo cual en la parte superior izquierda del programa existe un icono que sirve para crear herramientas.

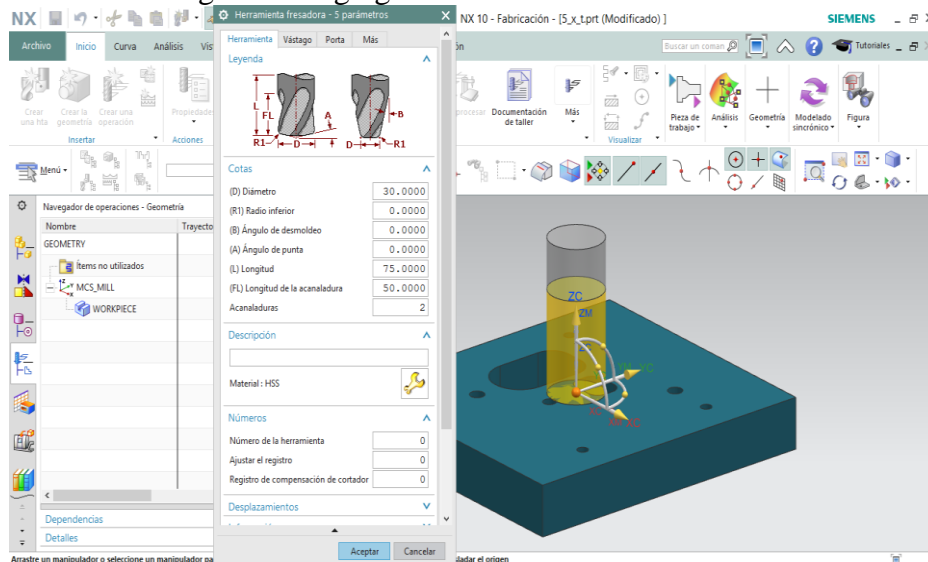
Figura 49. Crear los tipos de herramientas



Fuente: Autores

Es esta pantalla que se desglosa se procede a agregar un nombre a la herramienta, forma y el porta herramienta.

Figura 50. Agregar un nombre a la herramienta

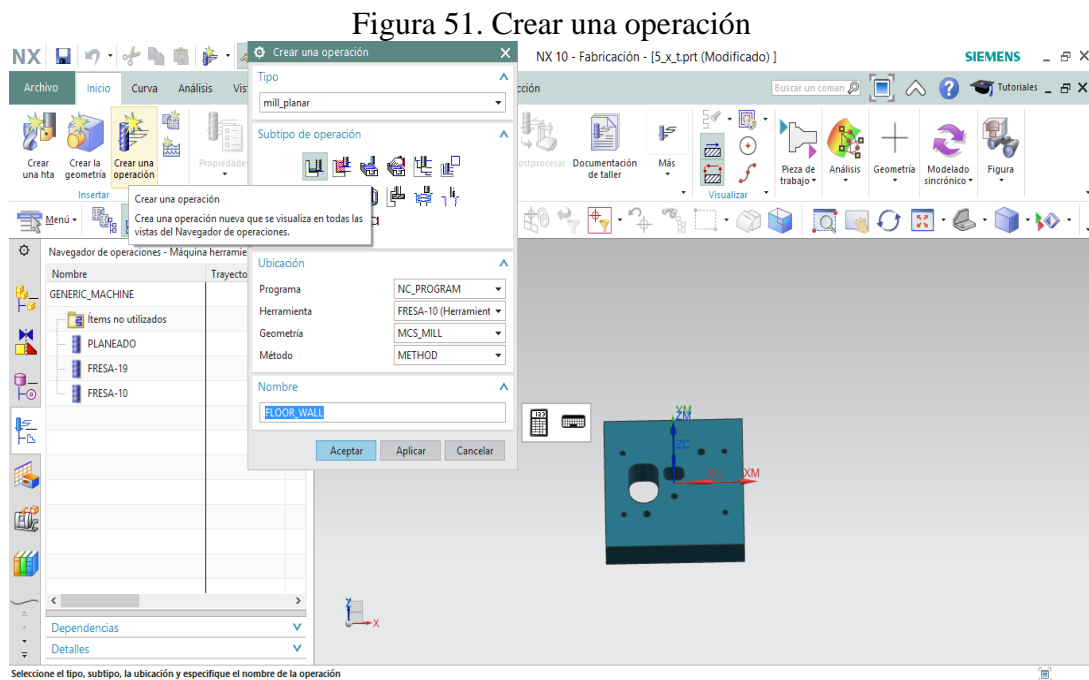


Fuente: Autores

Se procede a crear las herramientas de corte que se va a utilizar en el proceso de manufactura de acuerdo al tipo de herramientas que se cuente en el taller para esta operación de mecanizado se utilizó las herramientas:

- Fresa frontal de 80 mm de diámetro.
- Fresa plana de 19 mm de diámetro.
- Fresa plana de 10 mm de diámetro.

El mecanizado de la pieza comienza un planeado de la superior la que servirá de punto de referencia para las demás operaciones, el proceso comienza con el icono de crear una operación en esta se selecciona la operación que se va a realizar en este caso se escoge el tipo de operación MillPlaner , en la ubicación se selecciona el nombre del programa que se encuentra la modelación, el tipo de herramientas anteriormente creada, la geometría de la pieza a trabajar y también se elige el método de trabajo en este caso es un método de desbaste.

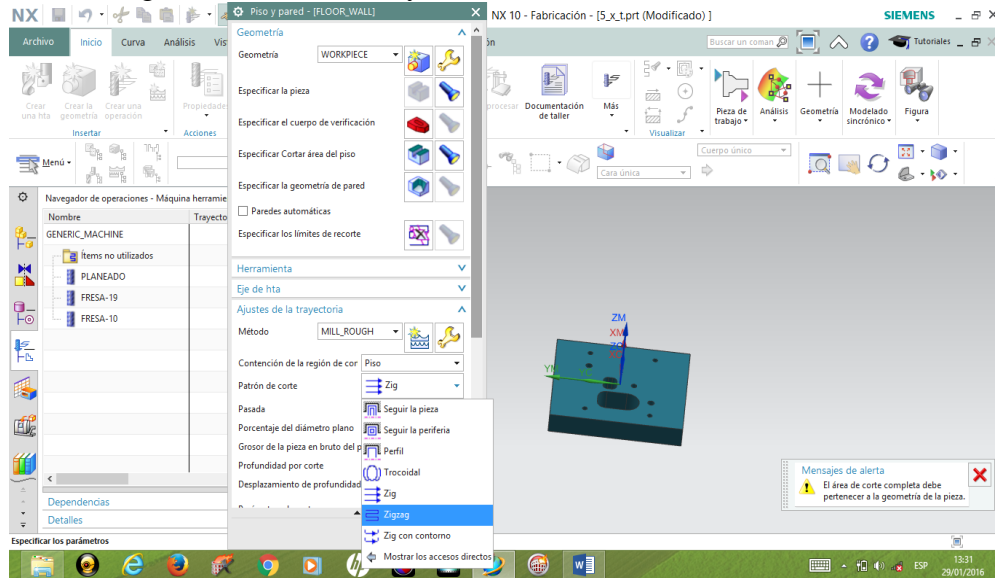


Fuente: Autores

En la siguiente pestaña se añade parámetros como el área de corte, también se ubica el método de entrada de la herramienta.

Más que todo en esta pestaña se designan las estrategias de mecanizado indicando la herramienta para el proceso de corte y el tipo de operación en este caso primero se realiza una operación de desbaste en la cual el acabado superficial no va ser tan limpio dejando un sobre material de 2 décimas de mm y se termina dando una operación de acabado aumentando la velocidad del husillo.

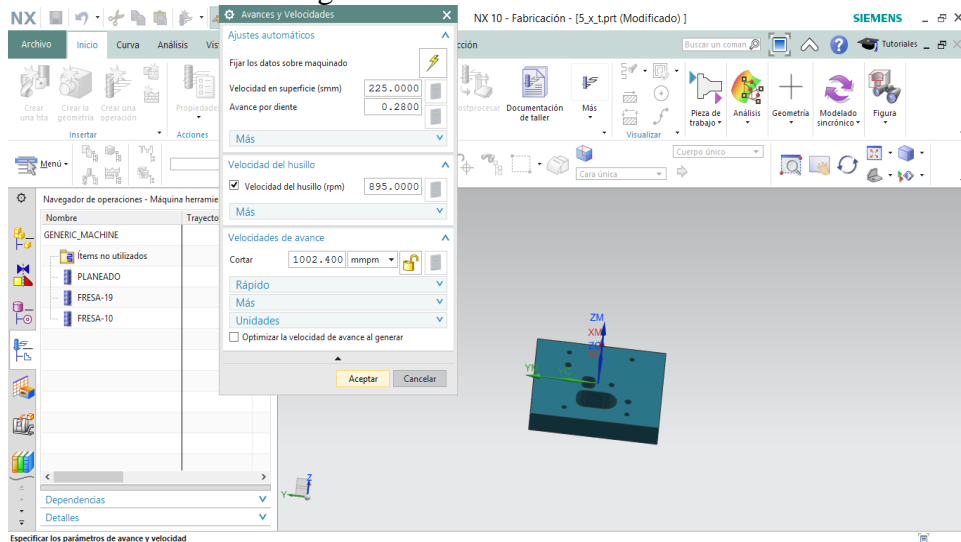
Figura 52. Parámetros y método de entrada de la herramienta



Fuente: Autores

Además el programa calcula automáticamente los parámetros de corte para esto se debe ubicar la velocidad de corte y el factor la maquia calcula el avance y el número de revoluciones.

Figura 53. Parámetros de corte

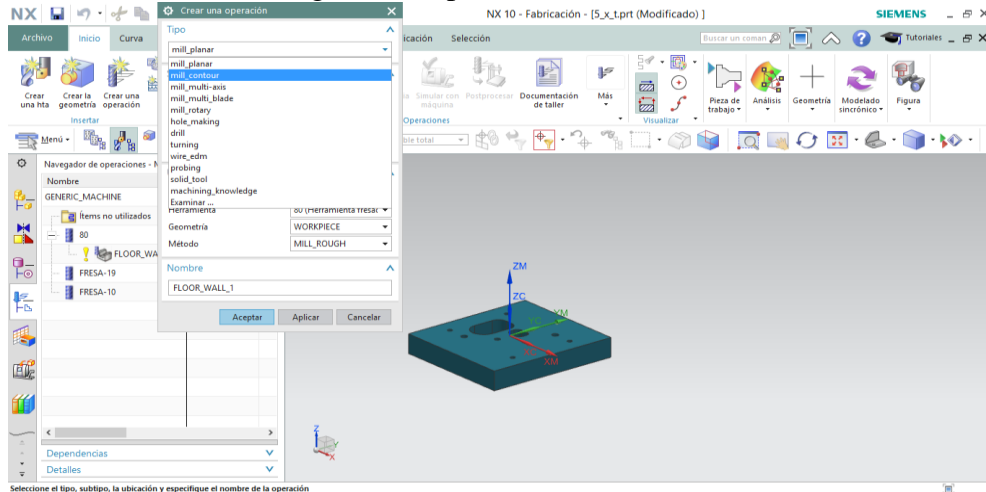


Fuente: Autores

Y con todos los parámetros seleccionados el programa de planeado está listo solo queda genera y se observa la que realizara la herramienta.

Una vez que ya se ha indicado la trayectoria de la herramienta y se desino los parámetros de corte se procede a simular la operación.

Figura 54. Operación de contorno

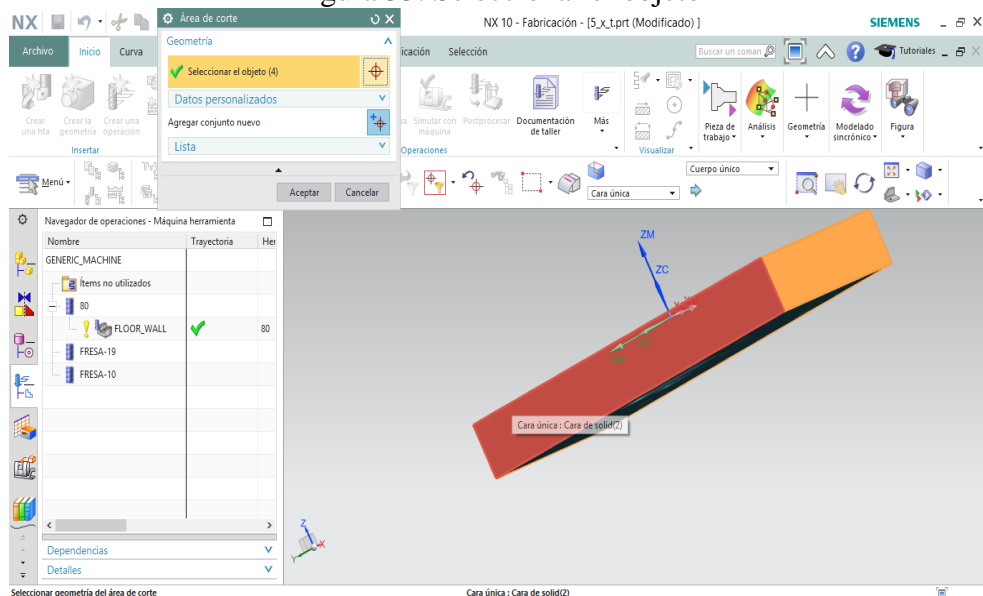


Fuente: Autores

Para la operación de contorno en crear nueva operación se escoge el Millcontour. En la ubicación se selecciona el nombre del programa (el tipo de herramienta en este caso es la fresa plana de 19mm de diámetro), la geometría de la pieza y el método desbaste en esta parte se indica la profundidad de corte que va a realizar la herramienta en cada pasada el objetivo es reducir esfuerzos que puede producir el desgaste de los filos de corte de la herramienta.

De la misma forma que la anterior programación se elige el área de corte, las operaciones son similares cambiando únicamente el tipo de herramienta y la selección.

Figura 55. Seleccionar el objeto



Fuente: Autores

3.9 Maquinado del troquel

En esta sección se describe el proceso de maquinado de la mayoría de los elementos que componen al troquel, desde el material en bruto hasta la obtención de la pieza final.

3.9.1 *Parámetros de corte.* Las condiciones de corte que determinan la remoción de material son la velocidad de corte, el avance y la profundidad de corte. Estas condiciones y la naturaleza del material establecen los requerimientos de potencia necesarios para realizar la operación. Las condiciones de corte se deben ajustar a la potencia disponible de la máquina a usar.

Las condiciones de corte también deben considerarse en relación con la vida de la herramienta.

El primer paso para establecer las condiciones de corte es seleccionar la profundidad, esta será limitada por la cantidad de material maquinado de la pieza de trabajo, por la potencia de la máquina, la rigidez de la pieza de trabajo y la herramienta de corte. La profundidad es el factor que menos afecta la vida útil de la herramienta, así que se debe usar lo más profundo posible.

El segundo paso a seleccionar es el avance. Se debe usar el máximo avance posible que produzca un acabado superficial aceptable.

El tercer paso es la velocidad de corte, a pesar que las tablas proveen las velocidades y avances recomendables, la experiencia en maquinar cierto material formará las mejores bases para ajustar las velocidades de un trabajo en específico.

La vida de la herramienta es el factor más importante en un sistema de maquinado, los avances y velocidades no se pueden seleccionar como simples números, deben ser considerados con respecto a otros factores que pueden influir en la vida de la herramienta, los datos presentados en la literatura son confiables, sin embargo, el maquinado es un proceso variable y complicado, el uso de tablas de avances y velocidades requiere que el usuario siga instrucciones cuidadosamente para conseguir buenos resultados. Los parámetros varían de acuerdo al tipo de material, el tipo de herramienta, los ajustes de la máquina entre otros factores que no se pueden garantizar.

Los parámetros utilizados en el proceso de maquinado del troquel están tomados de tablas del manual de maquinaria, ajustados a tipo de herramienta y material utilizado. Debido a que no se realiza una producción, el tiempo de maquinado no es de gran importancia, por lo tanto se redujeron los valores recomendados en las tablas.

Tabla 8. Parámetros de corte.

Parámetros de corte			
Diámetro [mm]	Profundidad de corte [mm]	Avance [mm/min]	Velocidad de corte [rpm]
Cortador carburo de tungsteno de 12,7	1,50	70	1800
Cortador carburo de tungsteno de 6,35	1,00	25	1800
Cortador carburo de tungsteno de 3,175	0,75	17	1800
Broca carburo de tungsteno de 6,35	-	80	1000

Fuente: Autores

3.9.2 Matriz. Se realizó el diseño con la ayuda del software NX cuidando cualquier detalle que pudiera provocar una falla en la manufactura, se analizó el tipo de herramienta necesaria y se generó el código de control numérico. A partir de una placa con las dimensiones aproximadas, para obtener las dimensiones de diseño se hizo uso de una fresadora vertical. La placa se sujetó en una prensa y se prosiguió a carear cada una de las superficies, con la finalidad de escuadrar, eliminar imperfecciones y dar las dimensiones apropiadas.

Figura 56. Perforación en el centro de la placa en el torno CNC



Fuente: Autores

Posteriormente en el centro de maquinado de control numérico que se encuentra en las instalaciones de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la cual se le transmitió el código generado previamente. Se sujetó la pieza con la prensa, se centró la pieza con el barreno realizado y se prosiguió a correr el programa para obtener el espesor de la vida útil de la matriz con la geometría especificada como se ve en la figura 4, utilizando una secuencia de cortadores de carburo de tungsteno de 1/2'', 1/4'' y 1/8'', así mismo se realizó la cavidad para alojar la matriz de punzonado. La operación siguiente fue el taladrado de los 4 orificios de sujeción de la matriz con una broca de 1/4'' de carburo de tungsteno.

Figura 57. Taladrado de los 4 orificios



Fuente: Autores

En seguida se volteó la placa para maquinar la parte inferior, cavidad que sirve para expulsar la pieza troquelada.

Después se retiró la pieza de la máquina y se utilizó una fresadora manual, donde se realizaron dos perforaciones de precisión con una broca de 15/64'' para poder introducir una rima de 1/4'', estos barrenos sirven para colocar los pernos de registro que nos posicionan la matriz. Se realizan las cajas para alojar las cabezas de los tornillos.

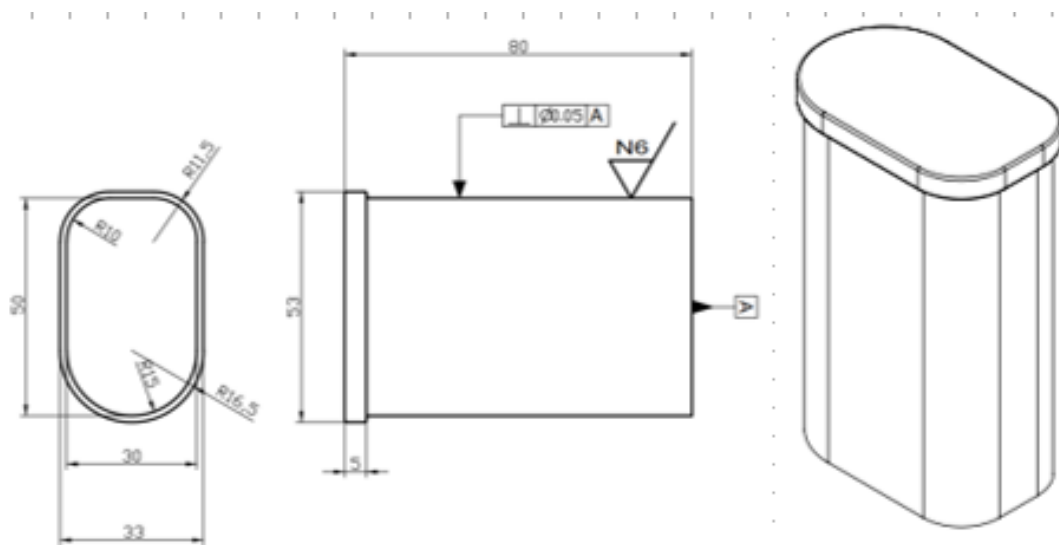
Finalmente se rectificaron ambas cara de la matriz, con el objetivo de eliminar las rebabas y marcas de maquinado y así poder realizar un mejor ajuste.

3.9.3 Punzones. Para manufacturar el punzón se utilizó una sección de material con las medidas aproximadas en longitud. A partir de este material, se diseñó el punzón en NX 10 adaptándose a las medidas, se realizaron los ajustes necesarios evitando interferencias y se simuló el uso correcto de los pasos de manufactura la ventaja de la simulación es, permitir observar si va existir fallas el momento de realizar el proceso de manufactura.

Es preciso considerar un sobredimensionamiento de material lo recomendable es una sobre medida de 5 mm por cada lado permitiendo un buen agarre en las mordazas, por lo general la pieza se realizó en dos partes la primera consta de un planeado y contorno dando la forma al troquel y la segunda de desbaste obteniendo la pieza a la medida las profundidades de corte van de acuerdo al tipo de material en que se está trabajando para evitar desgaste en los filos de corte de las herramientas y también para garantizar un excelente acabado superficial.

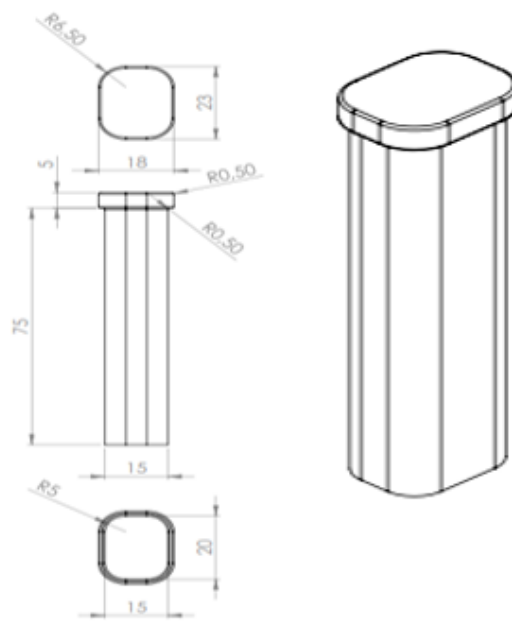
Para poder obtener un buen filo de corte en el troquel es necesario realizar unas pasadas de planeado de 0,01 de milímetro hasta obtener el filo de corte deseado con el objetivo de obtener piezas de calidad, con el filo de corte listo se puede dar un tratamiento térmico al punzan de esta forma alargando el tiempo de vida útil y garantizando mayor producción y con ende mayor ganancia.

Figura 58. Punzón de corte cuerpo



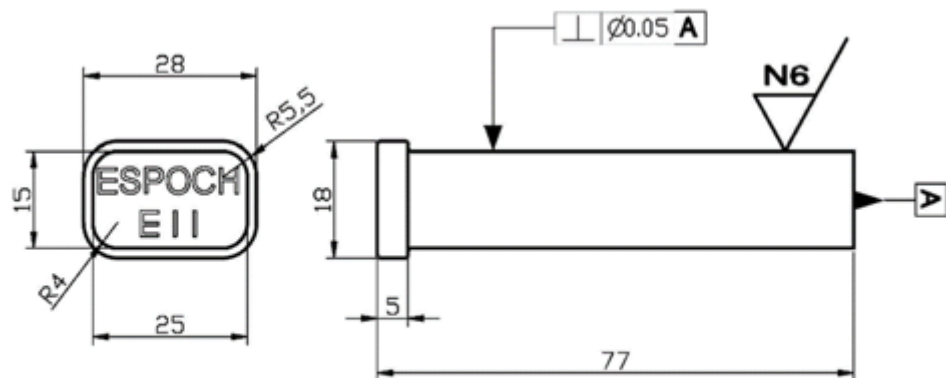
Fuente: Autores

Figura 59. Punzón de corte destapador



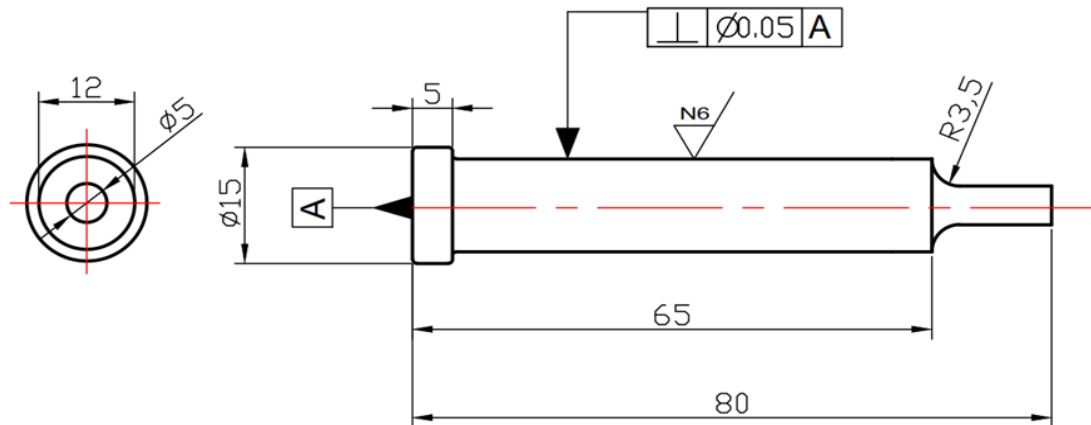
Fuente: Autores

Figura 60. Punzón de estampado



Fuente: Autores

Figura 61. Punzón de perforado



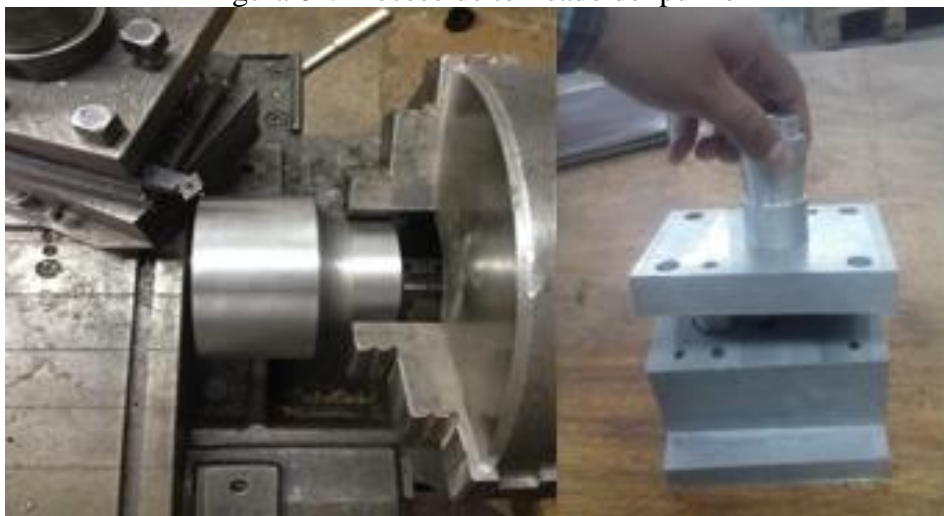
Fuente: Autores

Para todo proceso de manufactura es necesario contar con planos de las piezas bien acotadas que permita la fácil interpretación.

Para elaborar este tipo de piezas se las puede realizar en tornos convencionales como en tornos CNC, con la ventaja que un trabajo en torno cnc los tiempos se reducen, el acabado superficial y las tolerancias son bastante aceptables.

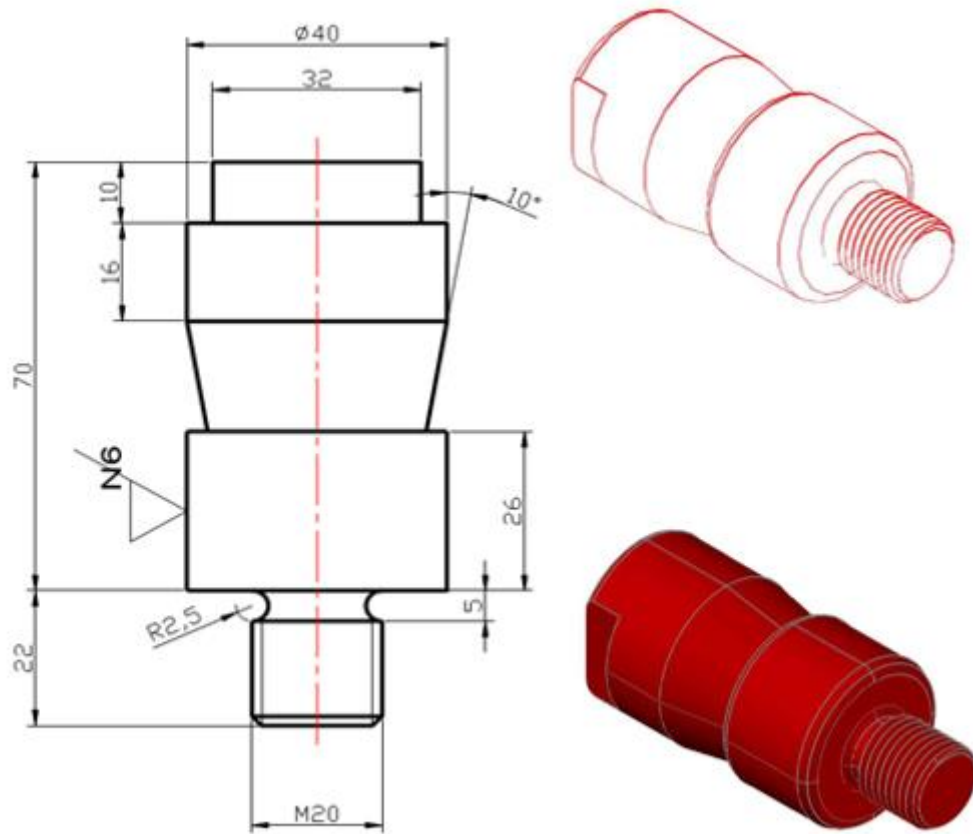
Para obtener las medidas exactas se utilizó un proceso de torneado, con el cual se generaron caras planas, se cilindro, posteriormente se desbastó una sección a un diámetro de 3'' y se realizó un radio entre ambos diámetros además esta pieza tien una rosca M20 que permite el agarre en la prensa.

Figura 62. Proceso de torneado del punzón



Fuente: Autores

Figura 63. Vástago de sujeción



Fuente: Autores

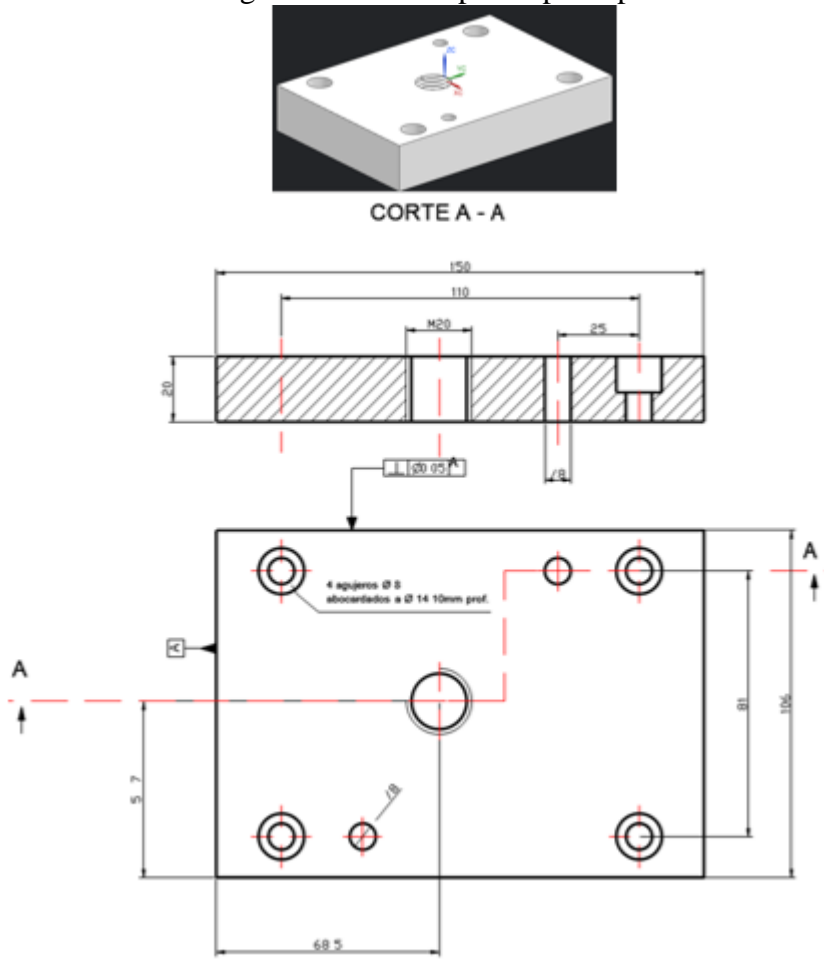
3.9.4 Placa base superior. Para el proceso de mecanizado de la placa superior principal (Pieza 1), depende la alineación adecuada entre punzón y matriz, se debe asegurar conseguir la misma distribución de espacio.

Su función principal es la de brindar una fuerza cortante para el proceso de fabricación de llaveros, a su vez ira acoplada con el perno y la pieza numero dos la cual portara los punzones cortante, perforación y el punzón de estampado.

Se posiciona la placa superior en los postes guías y que toque de manera uniforme al punzón. Se realizan las perforaciones en la porta troquel ya mencionados en el maquinado del punzón.

Cabe recalcar que todas las placas tienen que tener tolerancias geométricas que permitan el correcto ensamble, con la finalidad de evitar desgaste de los troqueles por efectos de carga de esfuerzos mal distribuidas que puede ocasionar atrapamiento de los troqueles.

Figura 64. Placa superior principal



Fuente: Autores

Figura 65. Mecanizado de la placa superior principal

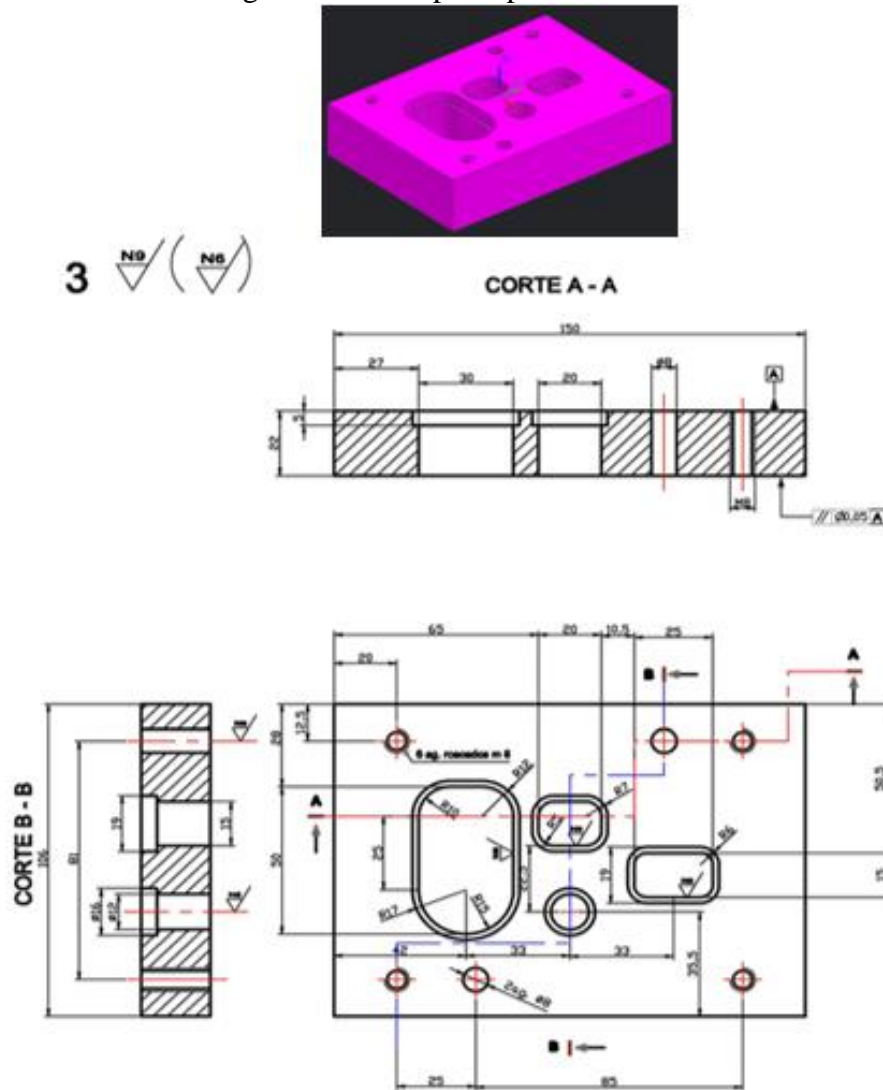


Fuente: Autores

En la posición existente se realiza una prueba, en la pieza obtenida se puede observar si el claro se mantiene uniforme a lo largo de la geometría.

3.9.5 *Placa porta punzones.* Se detalla las dimensiones de la placa y sus principales características.

Figura 66. Placa porta punzones



Fuente: Autores

Las funciones de la pieza número dos cual porta punzones cortantes y perforantes y a su vez brindan una fuerza cortante para el proceso de fabricación de llaveros. Depende la alineación adecuada entre punzón y matriz. En esta misma posición se realizan dos perforaciones de precisión a la matriz, para insertar los pernos de posicionamiento y así asegurar la alineación.

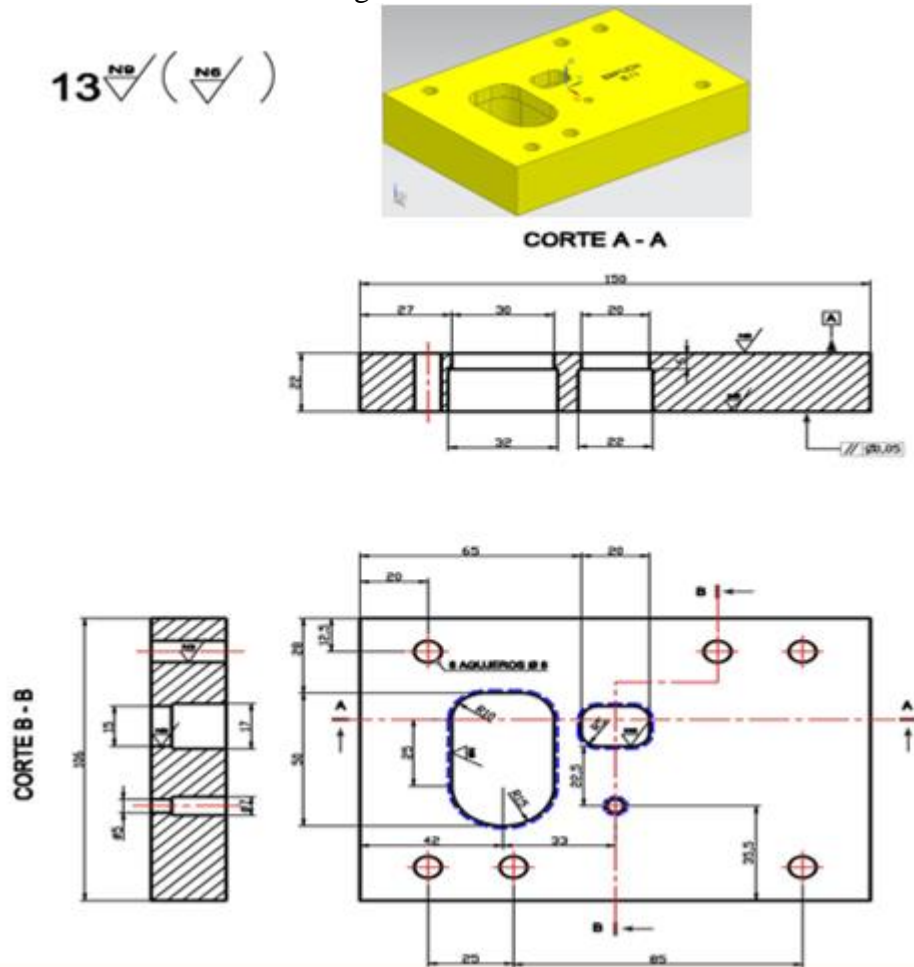
3.9.6 *Placa guía de punzones.* Se detalla las dimensiones de la placa y sus principales características.

[illegible]

La placa guía de punzones denominada pieza número tres su función principal será la de brindar una guía a los punzones y estará acoplada mediante pernos a la matriz de corte o pieza cuatro, su acople será separado mediante las placas 1 y 2, para que recorre con facilidad el material. Este es uno de los puntos más críticos, ya que de este proceso depende la alineación adecuada entre punzón y matriz. Se atornilla la matriz a la placa inferior, se introducen los punzones en la matriz, pero se colocan laminas entre el punzón y la matriz con la medida del claro calculado, de esta manera se asegura conseguir la misma distribución de espacio a lo largo del perfil.

3.9.7 Placa matriz. Se detalla las dimensiones de la placa y sus principales características.

Figura 68. Placa matriz



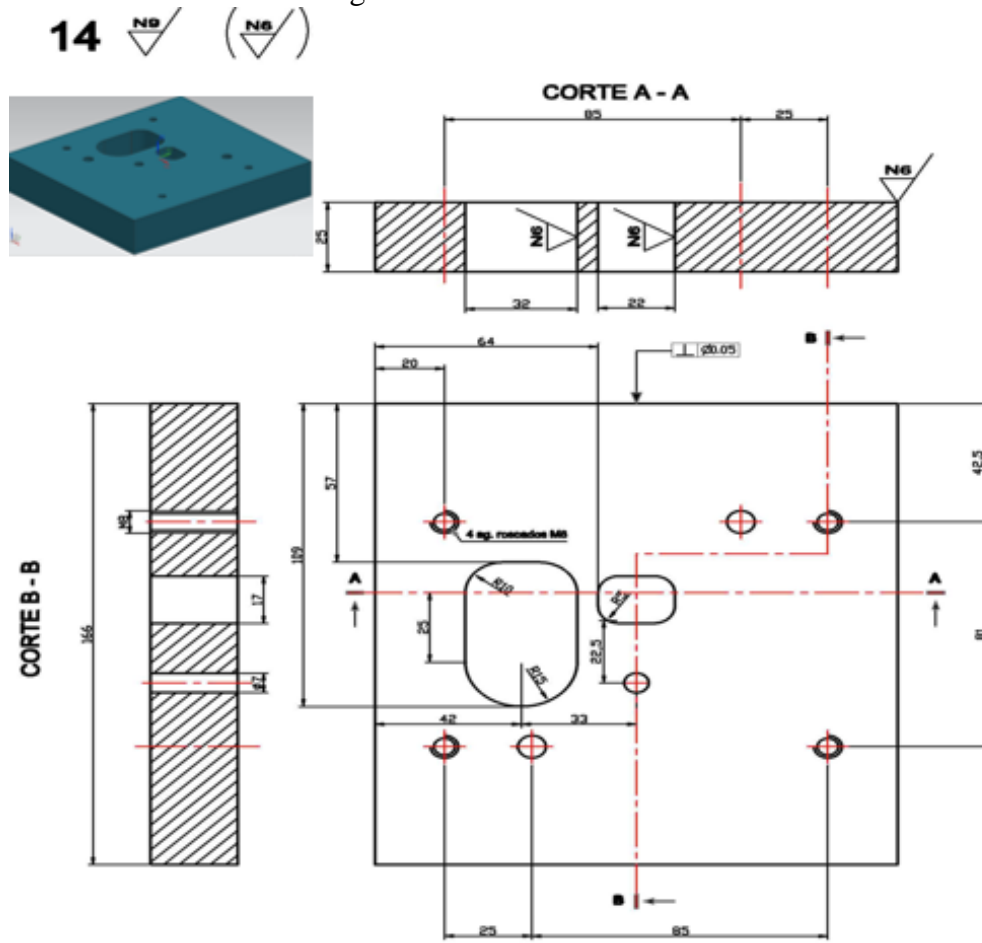
Fuente: Autores

Se maquina la pieza número cuatro o matriz de corte se lo realizo con ayuda de maquina CNC, su función principal será la de brindar las dimensiones aproximadas para el proceso de fabricación de llaveros, a su vez ira acoplada, con la pieza tres y las dos placas separadoras.

En medio de estas dos placas es por donde se introduce el material a ser cortado para la obtención de los llaveros.

3.9.8 Placa base inferior. Se detalla las dimensiones de la placa y sus principales características para un correcto funcionamiento es de vital importancia la para una correcta fabricación.

Figura 69. Placa base inferior



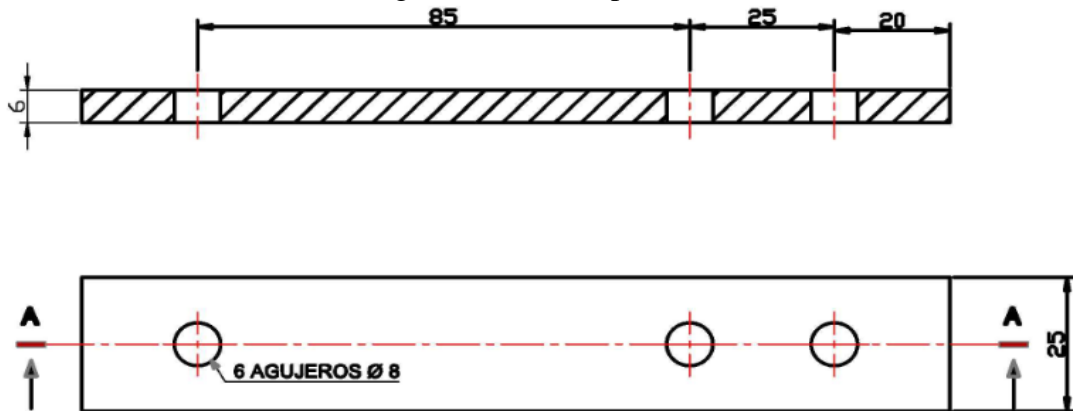
Fuente: Autores

La pieza número cinco fue fabricada con colaboración del centro de mecanizado de tres ejes CNC, la cual servirá como base del troquel soportando los punzones cortantes y perforantes y a su vez soportara la fuerza cortante para el proceso de fabricación de llaveros.

3.9.9 *Placa separadora 1 y 2.* Se realizó el diseño de tal manera que no exista interferencia con otros elementos, y la placa separadora 1 (izquierda) y 2 (derecha), deben estar libres de roces con elementos en los costados, esto puede producir atascamiento de los troqueles forzando las paredes de la cavidad y los filos de corte del punzón reduciendo la vida útil.

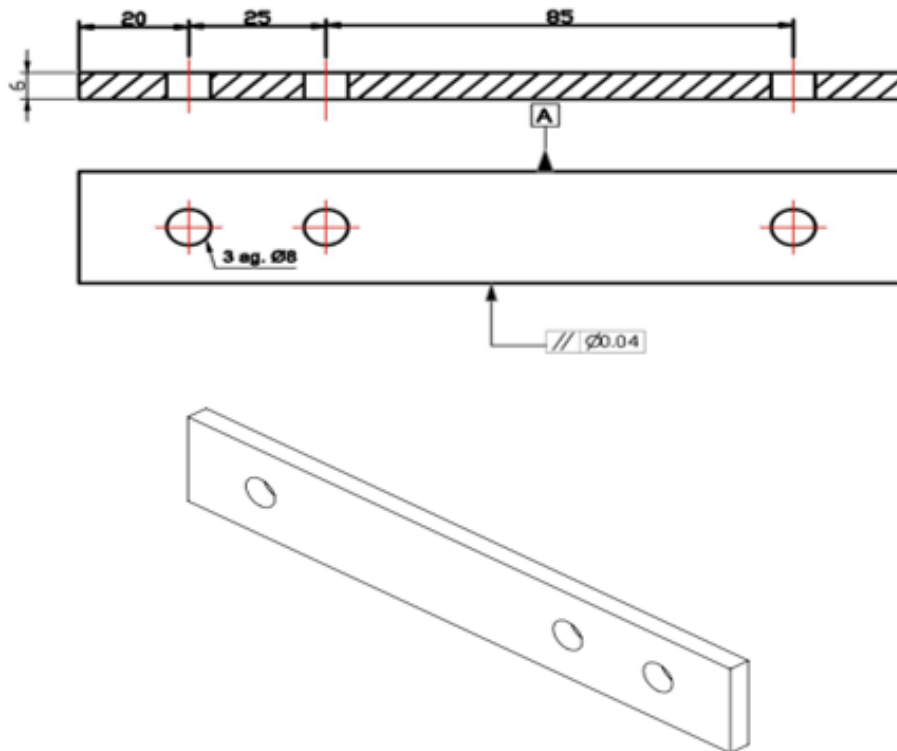
La cavidad se dibujó a partir de la geometría original, usando una holgura para ensamble mecánico de 0.3 mm por lado de esta forma se garantiza larga horas de duración de los punzones evitando desgaste por fricción.

Figura 70. Placa separadora 1



Fuente: Autores

Figura 71. Placa separadora 2

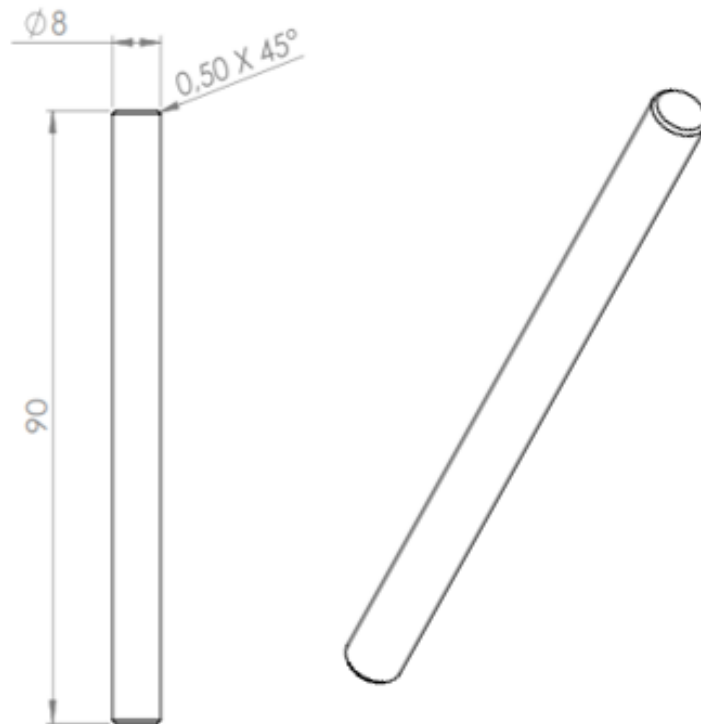


Fuente: Autores

3.9.10 Pasador guía de centro 1 y 2. Las guías para la matriz son de 8mm de diámetro y de 80 mm de longitud estas realizan la función de guiar las placas 1 y 2 con las placas 3,4 y 5.

Es necesario ubicar los pasadores guías para evitar que las placas se descentren al momento de realizar el corte.

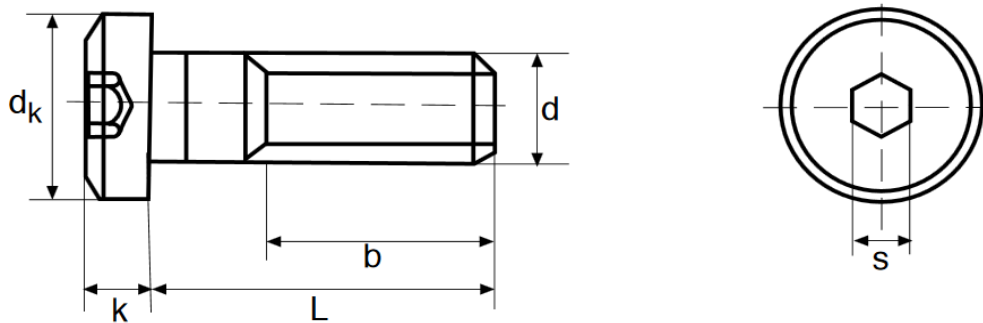
Figura 72. Pasador de centro 1 y 2



Fuente: Autores

3.9.11 Pernos. Los pernos que se va a utilizar son M8 de 1" de largo que una las placas 1 y 2. Para las placas 3,4 y 5, están sujetas con pernos mM8 de 2" de largo.

Figura 73. Dimensiones de perno M8

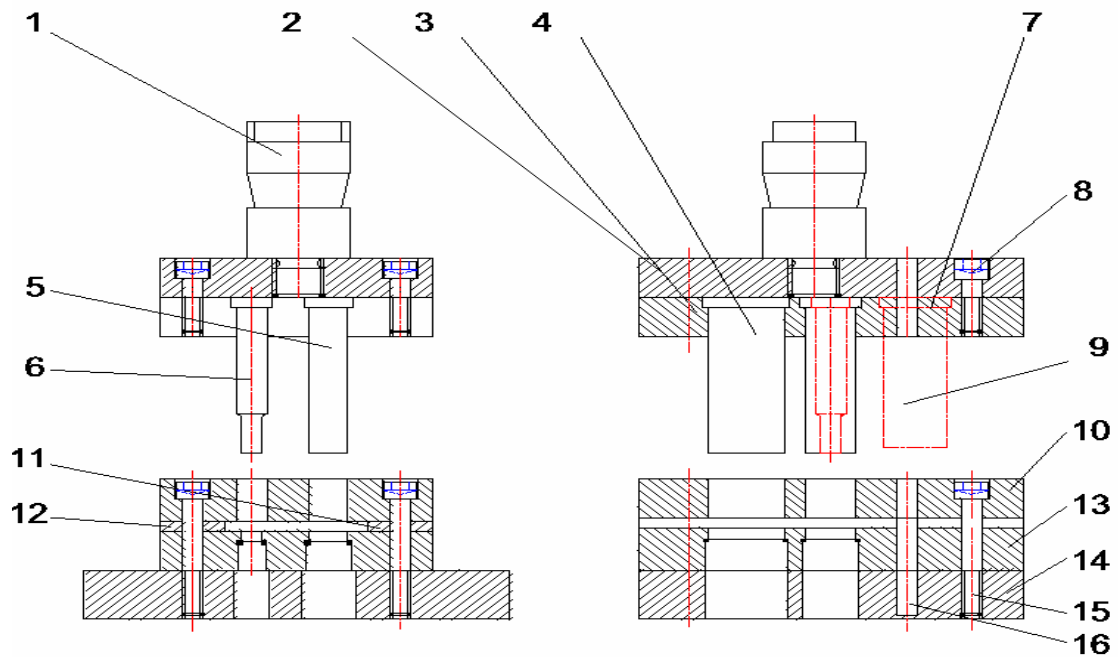


Fuente:

Se eligió esta tipo de perno de acuerdo al tamaño de la matriz y en relación a la prensa en donde va estar ubicada trabajando, son perno de rosca milimétrica de paso fino el fin ubicar roscas de paso fino es porque la matriz no necesariamente se tiene que estar desarmando a cada momento. Con lo cual se garantiza un perfecto agarre entre todas las placas y por las presiones que ejerce la prensa también evitamos que se suelten los pernos.

3.10 Ensamble del troquel.

Figura 74. Grafica del ensamble del troquel



Fuente: Autores.

Figura 75. Ensamble del troquel

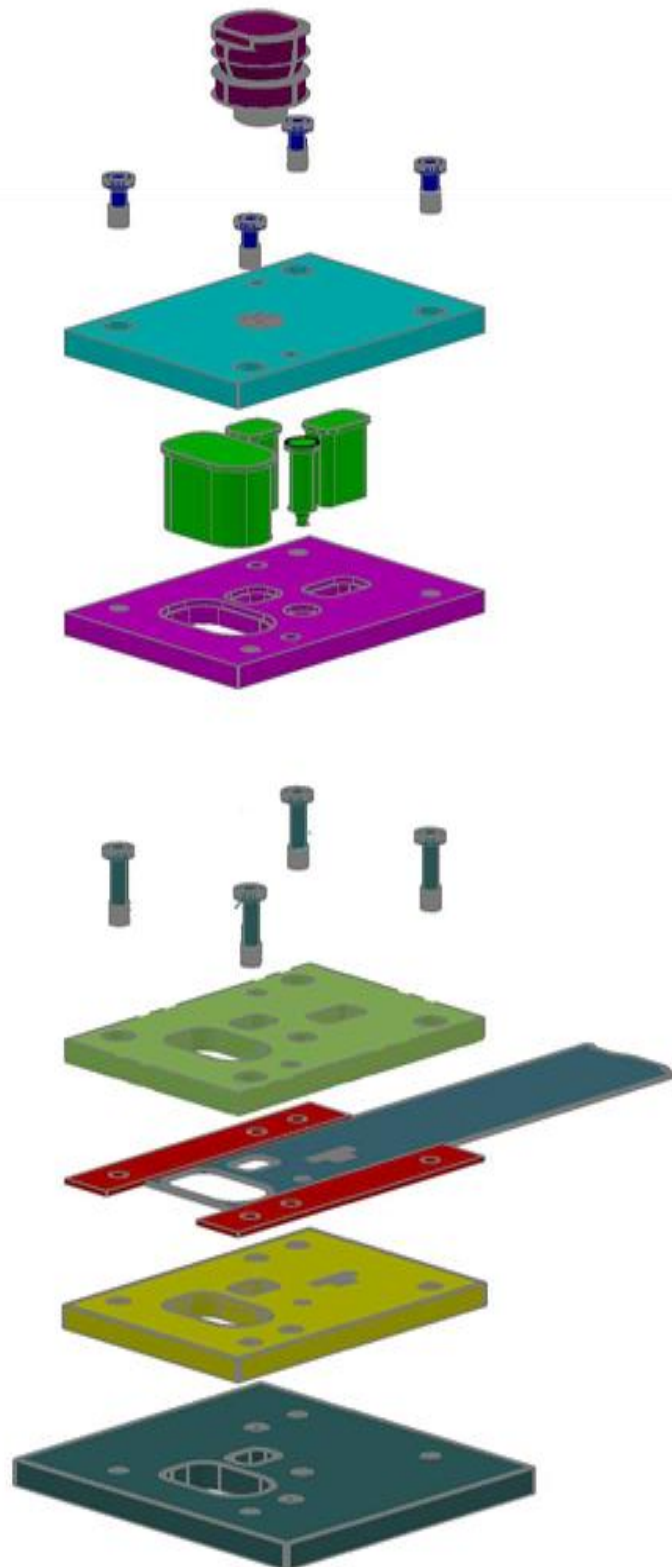


Fuente: Autores

En la figura 75 se observa todas la piezas obtenidas del proceso de manufactura con la maquina Bridgeport VMC22/800 de tres ejes, se procede al armado y verificación de tolerancias geométricas con el objetivo de garantizar un producto de calidad se realiza una prueba cortando fomix como materia prima el resultado es bastante bueno los cortes son perfectos de esta prueba se obtuvo que el prototipo funciona correctamente y que la precisión es la esperada.

3.11 Conjunto explotado.

Figura 76. Conjunto explotado



Fuente: Autores

3.12 Estudio de costos.

Para el estudio de costos se cotiza el precio de costos los materiales y componentes necesarios para la modelación de una matriz de corte en la producción de llaveros con el logotipo de la escuela de Ingeniería Industrial utilizando la tecnología CAD – CAM, dicha cotización se va a realizar de la manera más precisa posible, son costos estimados en la fabricación de la matriz.

3.12.1 Costos directos

Tabla 9. Costos directos

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor u. [usd]	Valor t. [usd]
Insumos (Diseño y fabricación)	U	1	1500,00	1500,00
Equipo y maquinaria	U	1	0,00	0,00
Mano de obra (Autores)	Meses	6	150,00	900,00
Total Costos Directos				2400,00

Fuente: Autores

3.12.2 Costos indirectos

Tabla 10. Costos Indirectos

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor u. (usd)	Valor t. (usd)
Equipo de Computación				225,00
Computadora portátil	Horas	240	0,50	120,00
Impresora	U	1	105,00	105,00
Gastos Administrativos				74,50
Papel	Resma	2	2,00	4,00
Tinta impresora	Cartucho	2	17,00	34,00
Empastado de Trabajo de Titulación.	U	1	10,00	10,00
Portaminas	U	4	1,00	4,00
Cuaderno	U	1	2,50	2,50
Gastos varios				20,00
Total Costos Indirectos				299,50

Fuente: Autores

Costo total

Costo total= Costo directo+ Costo indirecto

CT= (2400,00+29950) USD

CT= 2699,50 USD

CAPÍTULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1 Conclusiones

Diseñar es un proceso que puede llevar tiempo entender, no es cosa sencilla ya que siempre va de la mano con la manufactura y la selección apropiada de materiales, hay que ver como el diseño se puede realizar con los elementos disponibles y que concebir el producto no sea una tarea complicada o imposible de realizar.

Consultar una guía de diseño de troqueles puede llevar de la mano, paso a paso en los parámetros requeridos, pero en la literatura solo se encuentran teorías básicas, como su nombre lo indica es algo muy sencillo que ejemplifica el camino a seguir, pero el diseño de troqueles va más allá de una simple guía, es un mundo complejo que requiere de experiencia, de ciertos conocimientos que marcan la diferencia, hay muchos detalles que se van aprendiendo con el paso del tiempo y que pocas veces alguien te lo dice, hasta que te enfrentas a ellos buscando la mejor solución posible.

Es necesario entender cómo funciona el proceso y todas las variables involucradas en él, ya que de esto depende un diseño óptimo para obtener buenos resultados.

La realización del troquel, permitió generar el diseño adecuado de una herramienta que servirá para futuras generaciones, demostrando que es posible realizar proyectos de este tipo sin ningún impedimento, además, permite obtener otros conocimientos necesarios que marcan el éxito del diseño.

La manufactura, otro punto muy importante en el desarrollo de cualquier producto, donde siempre se busca que el tiempo y el dinero requerido sea el menor posible, aumentando la producción y disminuyendo el costo. El troquel manufacturado permitió el uso de herramientas de gran ayuda, que para una industria puede marcar la diferencia, la aplicación de un software CAD-CAM, en este caso el NX 10 que ayudó a disminuir los tiempos de diseño, observar las posibles interferencias entre elementos ensamblados, corregir dimensiones, apariencias y realizar planos de las piezas. Así mismo es de gran

Ayuda en la manufactura, ya que el programa genera los códigos de control numérico para las máquinas usadas para la fabricación del troquel.

Tener bien forjadas las bases de ingeniería es de alta relevancia en este y cualquier otro trabajo relacionado, esto permite saber lo que se hace y tomar las decisiones adecuadas, para este trabajo se hizo uso de dibujo, diseño, materiales, manufactura, máquinas-herramientas entre otros elementos que facilitan la aplicación de la teoría.

Con el uso del troquel se podrán implementar prácticas escolares que permitan al alumno involucrarse con el proceso logrando una mejor formación que ayudará a tener una mejor perspectiva de las actividades futuras dentro de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, donde pueda aplicar sus conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera.

Este trabajo servirá como guía para todos aquellos que quieran formar parte de este amplio y complejo mundo de la manufactura.

4.2 Recomendaciones

Sin importar las limitantes y experiencias previas como diseñador, es posible lograr la fabricación de componentes que forman parte de un troquel, no se debe intentar sin una guía precisa y planos de ingeniería de cada una de las partes del diseño previos a su construcción.

Todos los planos de ingeniería se deben entender claramente sin dar lugar a ambigüedades, para ello es necesario auxiliarse con normas de dibujo que permite obtener diseños estandarizados.

Es necesario tener conocimiento respecto a los procesos de manufactura que se emplearan en los componentes diseñados o auxiliarse de algún técnico con experiencia para evitar pérdidas de tiempo, desperdicio de material y accidentes.

Los factores de seguridad y origen de los productos defectuosos siempre deben ser considerados en las partes del diseño.

Siempre que sea posible, las partes deben ser diseñadas de acuerdo a especificaciones estandarizadas, sin que exista algún peligro cuando sean utilizadas más allá de las condiciones de diseño.

Para un apropiado diseño se debe establecer una lista de control. Todas las condiciones (nominales y extremas), especificaciones del material, procedimientos de las partes mecánicas bajo todas las condiciones de operación, tolerancias dimensionales, entre otras.

BLIOGRAFIA

AVILES, Raul. *Usuarios de la Máquina CNC de Electrotecnologías.* Barcelona : MADRID, 2004. PP. 123-457-876.

BAWA, Hs. *Procesos de Manufatura.* Méxio : MCGRAW-HILL, 2007. PP. 135-136-138.

BOLJANOVIC, Paquin. *Die Design Fundamentals.* Estados Unidos : INDUSTRIAL PRESS, 2005. PP. 230-234-235.

CROOVER, MIikell. *Principles of Modern Manufacturing .* Estados Unidos : JOHN WILEY Y SONS, 2014. PP. 156-157-158.

FLORIT, Antonio. *Fundamentos de la Matriceria.* Barcelona : CEAC, 2005. PP. 84-329-117.

LÒPEZ, Navarro. *Troquelado y Estampación.* Barcelona : GUSTAVO GILI, 1976. PP. 671-672-673.

MILLAN, Simón. *Procedimientos de Mecanizado.* Madrid : PARANINFO, 2006. PP. 84-97. 345-678.

PEÑA, Camarero. *Matrices Moldes y Utillajes.* Madrid : DOSSAT, 2003. PP. 84-85-86-87.

ROJA, Gonazalo. *Manual de mecánica indistrial.* Madrid : CULTURAL, 2006. PP. 367-368-369.

SHIGLEY, Joseph. *Diseño en Ingeniería Mecánica.* México. : MCGRAW-HILL, 1985. PP. 6. 789-543-456.

ANEXOS

Anexo A